UNIVERSIDADE DE ÉVORA

DEPARTAMENTO DE PEDAGOGIA E EDUCAÇÃO

CONTRIBUTOS PARA UMA NOVA DIDÁCTICA DA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS:

UM ESTUDO DE ORIENTAÇÃO METACOGNITIVA EM AULAS DE FÍSICA DO ENSINO SECUNDÁRIO

ANTÓNIO J. NETO

ÉVORA / 1995

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

DEPARTAMENTO DE PEDAGOGIA E EDUCAÇÃO

CONTRIBUTOS PARA UMA NOVA DIDÁCTICA DA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS:

UM ESTUDO DE ORIENTAÇÃO METACOGNITIVA EM AULAS DE FÍSICA DO ENSINO SECUNDÁRIO



ANTÓNIO J. NETO

166370

Dissertação Apresentada à Universidade de Évora para Obtenção do Grau de Doutor em Ciências da Educação (Didáctica da Física)

ORIENTAÇÃO DA PROF.ª DOUTORA MARIA ODETE VALENTE

ÉVORA / 1995

AGRADECIMENTOS

A construção de uma tese é, costuma dizer-se, um empreendimento essencialmente solitário. Reclama do seu artífice constantes e penosas tomadas de decisão individuais. Sendo isso verdade, acontece também não haver praticamente obra humana que se consiga edificar sem que para ela tenham de confluir outros contributos que não os trazidos pelo seu principal autor. E é assim que aqui pretendemos deixar afirmado que a obra que agora concluímos não poderia, por certo, ter chegado ao fim, não fora a confluência de um conjunto de saberes, competências, boas vontades e apoio afectivo e material de que pudemos beneficiar. Por eles, e assumindo muito embora o risco de incorrer em esquecimentos injustos, sentimo-nos obrigados a agradecer em especial:

- À Professora Doutora Maria Odete Valente, pelos pertinentes saberes, sugestões e críticas que nos soube proporcionar e pela simpatia e empatia sempre manifestadas.

- Ao Professor Doutor Manuel Patrício, como grande responsável pelo *impetus* inicial impresso e pelos reforços que ao longo do processo nos quis transmitir.

- Ao Professor Doutor Vitor Trindade, pela solidariedade dos tempos em que juntos realizávamos o mesmo tipo de empreendimento, e pelos incentivos enquanto actual Presidente do Conselho do Departamento de Pedagogia e Educação.

- À Universidade de Évora, pelo apoio material concedido, nos limites das suas escassas disponibilidades.

- Ao ex-INIC, através da actual JNICT, pela bolsa de investigação que durante quatro anos nos foi concedida.

- Aos orgãos de gestão da Escola Secundária de Severim de Faria, na pessoa do Presidente da sua Comissão Executiva, Dr. Carlos Percheiro — sem esquecer o contributo inestimável de um outro elemento dessa Comissão, a Isabel Casaca, nossa ex-aluna —, e da Escola Secundária Gabriel Pereira, através do seu Presidente do Conselho Directivo, pro-

fessor Ananias Quintano, pelo pronto acolhimento concedido à nossa proposta de virmos a realizar nessas escolas o trabalho de campo.

- Ao Vitor Teodoro pela valiosa ajuda no tratamento estatístico e informático dos dados da pesquisa; ao Carlos Alberto Oliveira, pelas preciosas deixas informáticas igualmente fornecidas.

- À Céu Dias Pereira e à Teresa Baltasar, também antigas alunas, por prontamente terem acedido a intervir na experiência; à Inácia Marcão (nossa ex-formanda), por gentilmente nos ter cedido duas das suas turmas; à Fernanda Pereira e à Rosário Teixeira (outra nossa ex-formanda), pela sua colaboração no ensaio de alguns dos materiais utilizados.

- A todos os alunos participantes na intervenção, em especial àqueles que, com espontâneo entusiasmo juvenil, fizeram das entrevistas momentos vivos de profunda intencionalidade pedagógica.

- A todos os colegas e restantes funcionários do Departamento de Pedagogia e Educação, representados, apenas e só por uma questão de solidariedade antiga, pela Constança Machado e pela Olga Magalhães, pela grande empatia sempre evidenciada.

- À Mariana Valente, pela sua contribuição para o esclarecimento de algumas dúvidas epistemológicas surgidas; à Ana Guedes, pela sua interferência na nossa vinda para a Universidade de Évora; à Maria Ana Queiroga, pelos oportunos estímulos disponibilizados.

- A todos os amigos, em especial aos amigos de Évora, pelo interesse e apoio manifestados, prestando aqui, sem poder ocultar uma lágrima furtiva, uma sentida homenagem à nossa saudosa Etelvina.

- A toda a minha família, em especial aos meus pais, minha mulher e meus filhos, por todo o apoio e por alguns momentos de convívio e menor disponibilidade física e afectiva que, necessariamente, lhes acabaram por ser subtraídos.

- E por fim, mas não com menor reconhecimento, aos campos do Alentejo, onde frequentemente fomos capazes de encontrar a calma e a quietude que noutros lugares nos faltavam.

Ao Gonçalo
e
à Sofia

RESUMO

Segundo afirmava John Dewey, o acto de pensar tem mais afinidades com o fenómeno químico da combustão provocada do que com o da combustão espontânea. Na origem do pensamento, está sempre uma "perplexidade, uma confusão ou uma dúvida", isto é, um problema. A resolução de problemas constitui, nesse sentido, uma oportunidade vital na promoção e no desenvolvimento de competências de pensamento. Oportunidade que, pensando em termos didácticos, implica a transposição dos habituais procedimentos em que o quantitativo, rotineiro e reprodutivo imperam, por outros em que o qualitativo, metacognitivo e produtivo se possam afirmar.

Este trabalho refere-se a um estudo desenhado precisamente com o objectivo de investigar até que ponto é ou não possível derivar abordagens de sala de aula capazes de contribuir para que aquela transposição se efective. Configuram o trabalho duas vertentes diferenciadas mas indissociáveis:

- Uma vertente de investigação teórica, visando a construção de um referencial conceptual sólido e coerente, susceptível de conferir alguma unidade e integração a um campo dessas qualidades tão carenciado como é o da resolução de problemas.

- Uma vertente empírica destinada à validação no campo dos modelos consignados nesse referencial. Esta vertente foi desenvolvida no âmbito do programa de física (introdução à mecânica newtoniana) do 10.º ano de escolaridade, em duas escolas secundárias da cidade de Évora.

Tendo por lema a procura de complementaridades entre paradigmas diversos da investigação educacional, recusando por isso antagonismos estéreis, o estudo procurou tirar partido da conjugação dialéctica entre procedimentos de pesquisa quantitativos e procedimentos qualitativos (essencialmente entrevistas e análises de conteúdo dos materiais escritos dos alunos). A dimensão quantitativa foi suportada por um *desenho de tipo quase-experimental com grupo de controlo não equivalente.* Estiveram envolvidas quatro turmas completas, duas numa escola (uma funcionando de grupo experimental e outra de controlo, ambas a cargo do

próprio investigador) e outras duas, ambas experimentais, na outra escola, cada uma delas a cargo do respectivo professor.

A análise dos resultados obtidos parece apontar, genericamente, para uma clara superioridade dos grupos experimentais, sendo isso particularmente notório no que diz respeito ao reforço da competência cognitiva dos alunos na resolução de problemas de física, sobretudo de natureza quantitativa, e ao desenvolvimento de experiências metacognitivas e estados afectivos particularmente favoráveis a essas tarefas; existem, por outro lado, indícios substantivos, embora mais ténues, de alguma vantagem dos mesmos grupos na competência em importantes estratégias metacognitivas e na resolução de problemas de índole qualitativa.

A hipótese de partida de que uma abordagem de resolução de problemas de física, de cunho e suporte metacognitivo, se poderia revelar uma forma apropriada de assegurar interacção sinergética entre conceitos científicos (conteúdos) e processos de pensamento, parece ter adquirido, desse modo, apoio considerável.

PALAVRAS-CHAVE

Resolução de Problemas, Metacognição, Aprendizagem Construtivista, Conceitos Científicos, Conceitos Espontâneos, Didáctica da Física, Didáctica das Ciências

ÍNDICE GERAL

Índice de Quadros xvi

Índice de Figuras xix

INTRODUÇÃO 1

I. FUNDAMENTO TEÓRICO 53

1. ENQUADRAMENTO PSICOLÓGICO DA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS: CONCEITOS DE BASE E MECANISMOS FUNDAMENTAIS

1.1. Resolução de Problemas, Pensamento e Conhecimento: Identificação de Sinergias 57

- *Noção de problema: pluralidade conceptual e algumas idiossincrasias* 57
- *Resolução de problemas: um campo em mudança* 66

1.2. A Natureza da Resolução de Problemas como Competência Cognitiva: Mecanismos Psicológicos Fundamentais 105

- *Modelos cognitivos da resolução de problemas: uma amostra significativa* 106
- *Representação de problemas: um mecanismo decisivo* 112
- *Organização do conhecimento: um outro mecanismo decisivo* 120

2. A RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS E O SUJEITO PSICOLÓGICO GLOBAL: MULTIPLICIDADE DE RECURSOS E COMPLEXIDADE DE FACTORES

2.1. Variáveis Afectivas e Motivacionais: um Factor de Individualidade na Resolução de Problemas 131

- *A resolução de problemas e a envolvência do sujeito psicológico global* 131
- *Dimensão afectiva e motivacional: do esquecimento à importância crescentemente reconhecida* 136

• *Motivação: natureza e mecanismos* 141

2.2. Estilos Cognitivos : um Outro Factor de Individualidade na Resolução de Problemas 149

• *Da homogeneidade à diferenciação psicológica: o despontar dos estilos cognitivos* 149
• *A necessidade de estilos integradores: os estilos epistémicos como possível resposta* 161
• *Implicações educacionais dos estilos cognitivos* 164

2.3. Desenvolvimento Cognitivo: Importante Recurso Intrapessoal 171

• *Duas perspectivas diferenciadas do desenvolvimento cognitivo: Piaget e Vygotsky* 171
• *Pensamento lógico piagetiano: uma visão parcial do pensamento* .. 180

2.4. Recursos Metacognitivos: a Metacognição como Conceito Integrador da Resolução de Problemas 192

• *O desenvolvimento do conceito de metacognição* 192
• *Metacognição: um conceito integrador da resolução de problemas* 211
• *Ensinar metacognição ou ensinar metacognitivamente?* 221

3. DA MUDANÇA CONCEPTUAL AO APRENDER A PENSAR: UM LUGAR PARA A RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

3.1. A Epistemologia Construtivista e a Educação em Ciências: Virtualidades, Desvios e um Impasse Chamado Mudança Conceptual 229

• *Retrato teórico do construtivismo* .....
• *Conhecimento espontâneo e conhecimento científico: ruptura ou interacção dialéctica?* 242
• *Onde se questiona a validade educativa do modelo da mudança conceptual* 269

3.2. Aprender a Pensar e Resolução de Problemas: Novos Rumos Para a Educação em Ciências 279

• *Aprender a pensar: necessidade imperiosa num mundo em mudança* 279

- *A resolução de problemas e o objectivo de aprender a pensar: verso e reverso* 281
- *Para uma didáctica do aprender a pensar: estratégias e heurísticas como processos candidatos* 288

4. DIDÁCTICA DA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE FÍSICA: PARA UMA ABORDAGEM POTENCIADORA DO SUCESSO

4.1. Condicionantes Específicas do Sucesso: a Dificuldade Intrínseca da Mecânica Newtoniana 299

- *A mecânica newtoniana: do estatuto epistemológico ao estatuto curricular* 299
- *Dificuldades da mecânica e dificuldades da física: simbiose quase perfeita* 303
- *A "opacidade" da mecânica: disfunções cognitivas* 310
- *Para a compreensão das dificuldades dos alunos em mecânica* 317

4.2. Do Quantitativo ao Qualitativo: Contributos para uma Nova Didáctica da Resolução de Problemas de Física 353

- *Vícios e limitações da didáctica tradicional: a obsessão pelo quantitativo* 353
- *Didáctica tradicional: algumas positividades* 358
- *Para a superação de alguns vícios da didáctica tradicional: a importância da "física qualitativa"* 365

4.3. Da Automatização à Consciencialização Metacognitiva: Contributos Finais para uma Nova Didáctica da Resolução de Problemas de Física 377

- *Do conhecimento tácito à explicitação de estratégias e competências de resolução de problemas* 377
- *Abordagens sistemáticas de resolução de problemas* 383
- *Em busca de um modelo integrador para a resolução de problemas de física* 386

II. COMPONENTE EMPÍRICA 405

5. ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO E INSTRUMENTAL

5.1. Supostos Metodológicos de Partida 409

- *Análise retrospectiva: a "Guerra dos Paradigmas"* 409
- *Análise prospectiva: antagonismo ou complementaridade?* 416
- *Onde se opta pela complementaridade: razões epistemológicas e pedagógicas* 420

5.2. Vertente Quantitativa: Caracterização Geral 444

5.3. Instrumentos de Medida 467

- *Campo nuclear da resolução de problemas* 468
- *Campo da experiência metacognitiva* 497
- *Campo afectivo* 499

5.4. Método Geral de Tratamento dos Dados Quantitativos 511

5.5. Vertente Qualitativa: um Complemento Substantivo Imprescindível 520

6. RESULTADOS: ESTADOS E MUDANÇAS

6.1. O Estado de Partida 535

- *Radiografia inicial dos sistemas de construtos pessoais associados ao binómio força-movimento* 536
- *Retrato quantitativo de partida: comparação global* 569
- *Retrato quantitativo de partida: comparação diferencial* 572
- *Perfil lógico e epistémico dos grupos* 576

6.2. O Estado de Chegada e as Mudanças Ocorridas 588

- *Radiografia final dos sistemas de construtos pessoais associados ao binómio força-movimento* 589
- *Mudanças quantitativas globais* 607
- *Mudanças quantitativas diferenciais* 616
- *O caso especial de dois alunos do grupo de controlo* 622
- *Eventuais preditores das mudanças* 624

6.3. Algumas Representações Finais 641

- *A imagem da física* 642
- *Impacte da abordagem experimental: complementos derivados das entrevistas* 652

CONCLUSÃO **681**

- *Do quantitativo ao qualitativo, da mudança conceptual ao aprender a pensar: novos rumos para o ensino-aprendizagem da física* 683
- *Em ruptura com as didácticas tradicionais: onde se renova a convicção de que a resolução metacognitiva de problemas é um objectivo educacional relevante e viável* 701
- *Impacte quantificado da abordagem experimental: sucessos, insucessos e algumas questões em aberto* 711
- *Questões metodológicas: propostas de actuação* 741
- *A terminar* 751

BIBLIOGRAFIA **753**

ANEXOS ***(em separata)***

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 — *Chave de Classificação de TRPQT* 470

Quadro 2 — *Matriz de Conteúdos de TRPQLpré* 480

Quadro 3 — *Chave de Classificação de TRPQLpré* 482

Quadro 4 — *Matriz de Conteúdos de TRPQLpós* 483

Quadro 5 — *Matriz de Conteúdos de TFIS9* 486

Quadro 6 — *TPLOG: Esquemas Operatórios Avaliados* 491

Quadro 7 — *Chave de Classificação de TPLOG* 492

Quadro 8 — *Estatística Paramétrica* versus *Estatística Não-Paramétrica* 513

Quadro 9 — *Codificação Final das Variáveis Quantitativas* 519

Quadro 10 — *Estado de Partida: Comparação por Campos de Análise* 569

Quadro 11 — *Estado de Partida: Posicionamento Relativo por Campos de Análise* 571

Quadro 12 — *Estado de Partida: Comparação por Variáveis* 573

Quadro 13 — *Pensamento Lógico* versus *Número de Reprovações* 578

Quadro 14 — *Pensamento Lógico: Distribuição de Efectivos em Torno da Mediana do Grande Grupo* 579

Quadro 15 — *Correlações de TPLOG com Alguns Pré-Testes* 580

Quadro 16 — *Dificuldade a CFQ ou Matemática Previamente Declarada* 583

Quadro 17 — *Dificuldade a CFQ e Pensamento Lógico* 584

Quadro 18 — *Tabela de Incidências de DIFCFQ no Pensamento Lógico* 585

Quadro 19 — *Frequência dos Estilos Epistémicos em E1 e C* 586

Quadro 20 — *Estilos Epistémicos e Pensamento Lógico* 587

Quadro 21 — *Inventário-Síntese das Representações Vectoriais Propostas pelos Alunos a uma Questão sobre a Lei da Acção e Reacção* 599

Quadro 22 — *Algumas Interacções Especialmente Problemáticas* 601

Quadro 23 — *Caracterização das Falhas dos Alunos à Questão 6.2 de TRPQLpós* 603

Quadro 24 — *Características do Discurso dos Alunos: Algumas Insuficiências Marcantes* 605

Quadro 25 — *Estado de Chegada: Comparação por Campos de Análise* 607

Quadro 26 — *Estado de Partida* versus *Estado de Chegada: Comparação por Campos de Análise* 608

Quadro 27 — *Mudanças Relativas: Comparação por Campos de Análise* 609

Quadro 28 — *Comparação Diferencial Intragrupos* 617

Quadro 29 — *Comparação Diferencial Intergrupos* 618

Quadro 30 — *Correlações do Pensamento Lógico com Diversas Variáveis Dependentes* 625

Quadro 31 — *Resultados de Regressão Múltipla nas Variáveis do Campo Nuclear* 627

Quadro 32 — *Efeito do Pensamento Lógico em TMEC10* 629

Quadro 33 — *Tabela de Incidências do Pensamento Lógico em TMEC10* 629

Quadro 34 — *Efeito do Pensamento Lógico em SATFQ* 631

Quadro 35 — *Tabela de Incidências do Pensamento Lógico em SATFQ* 631

Quadro 36 — *Efeito do Pensamento Lógico em ATRPF* 632

Quadro 37 — *Tabela de Incidências do Pensamento Lógico em ATRPF* 632

Quadro 38 — *Efeito Global da Variável DIFCFQ no Campo Nuclear* 633

Quadro 39 — *Efeito Diferencial da Variável DIFCFQ no Campo Nuclear* 633

Quadro 40 — *Efeito Diferencial de DIFCFQ no Campo Nuclear: Quadro de Médias* 634

Quadro 41 — *Efeito Global de DIFCFQ no Campo Afectivo* 635

Quadro 42 — *Efeito Diferencial de DIFCFQ no Campo Afectivo: Quadro de Médias* 635

Quadro 43 — *Efeito Diferencial de DIFCFQ no Campo Afectivo* 636
Quadro 44 — *Efeito Global dos Estilos Epistémicos no Campo Nuclear* 637
Quadro 45 — *Efeito Diferencial dos Estilos Epistémicos no Campo Nuclear* 638
Quadro 46 — *Efeito Diferencial dos Estilos Epistémicos no Campo Nuclear: Quadro de Médias* 638
Quadro 47 — *Efeito Global dos Estilos Epistémicos no Campo Afectivo* 640
Quadro 48 — *Efeito Diferencial dos Estilos Epistémicos no Campo Afectivo* 640
Quadro 49 — *Opinião dos Alunos Entrevistados Sobre Alguns Suportes Fundamentais da Abordagem de Resolução de Problemas* 654
Quadro 50 — *Desempenho Oral Perante um Problema Concreto: Quadro Comparativo* 678
Quadro 51 — *Mudanças Relativas: Síntese do Campo Afectivo* 711
Quadro 52 — *Mudanças Relativas: Síntese do Campo da Experiência Metacognitiva* 714
Quadro 53 — *Mudanças Relativas: Síntese da Competência Quantitativa e Qualitativa* 715
Quadro 54 — *Cronograma de Actividades — Grupo E1* 728

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 — *Conteúdos, Processos e Contextos: um Equilíbrio Reclamado* 29

Fig. 2 — *Enigmas versus Problemas: Implicações Pedagógicas* 61

Fig. 3 — *Técnicas de Pesquisa: Condicionantes Paradigmáticas* 427

Fig. 4 — *Cinemática e Dinâmica: Estudo Integrado* 455

Fig. 5 — *Estado de Partida: Campo Nuclear da Resolução de Problemas*..... 574

Fig. 6 — *Estado de Partida: Campo da Experiência Metacognitiva* 575

Fig. 7 — *Estado de Partida: Campo Afectivo* 576

Fig. 8 — *Mudanças: Campo Nuclear da Resolução de Problemas*..... 611

Fig. 9 — *Mudanças: Campo da Experiência Metacognitiva* 613

Fig. 10 — *Mudanças: Campo Afectivo* 614

Fig. 11 — *O Caso Especial de Dois Alunos do Grupo de Controlo: EstadoInicial* 623

Fig. 12 — *O Caso Especial de Dois Alunos do Grupo de Controlo: EstadoFinal* 624

Fig. 13 — *Estratégias Metacognitivas: Mudanças Verificadas* 717

Dos professores de física, o mais digno de apreço seria aquele que nos fizesse intuir plenamente a insignificância do seu compêndio e das suas figuras face à Natureza e face às mais altas exigências do espírito.

Goethe

INTRODUÇÃO

A Alegria da Física...

Albert R. Hibbs, na introdução ao livro *Está a Brincar Sr. Feynman* !, e procurando dar conta da alegria de Feynman ao ensinar física, testemunhava, com saudade:

> Lembro-me como era entrar nas suas conferências, quando era seu aluno. Encontrava-se geralmente em frente da entrada, sorrindo-nos à medida que íamos entrando, enquanto os seus dedos batiam um ritmo complicado na superfície negra da bancada que atravessava a entrada da sala de conferências. Enquanto os últimos a chegar se sentavam, pegava no giz e começava a rodá-lo rapidamente entre os dedos, como um jogador profissional a brincar com as cartas, continuando a sorrir alegremente como se pensasse nalguma piada secreta. E depois — sempre sorrindo — falava-nos sobre a física, ajudando-nos, com os seus diagramas e as suas equações, a compartilhar os seus conhecimentos. Não era nenhuma piada secreta que lhe provocava o sorriso e o brilho dos olhos, era a física. A alegria da física! Essa alegria era contagiosa. Nós, os que contraímos essa doença, somos afortunados. (Feynman, 1988b, pp. 15-16)

Nós, os que contraímos essa doença, somos afortunados, assim fala Hibbs, exprimindo-se no plural. Mas ser plural não significa necessariamente ser frequente. E o facto é que — possivelmente, admitimo-lo, por não lhes sair a fortuna de terem um Feynman como professor de física — a grande maioria dos alunos das nossas escolas parece ficar imune a um tal contágio. Raros são aqueles em que o "vírus" (benigno) transmissor da "alegria da física" faz sentir verdadeiramente os seus efeitos. Isso o parece reconhecer, por exemplo, Carlos Fiolhais (1991) quando, na introdução ao seu livro *Física Divertida,* escreve:

> O título *Física Divertida* parece paradoxal. Não é a física uma ciência maçadora e repulsiva, capaz de fazer meter as mãos pelos pés o mais inocente dos alunos e os pés pelas mãos o mais convencido dos professores? (p. 7)

Fiolhais julga, no entanto, haver razões para algum optimismo. É sua convicção de que a física *pode* — o que não significa que o esteja realmente a conseguir — ser uma disciplina "interessante, atraente e até divertida":

> Este livrinho [*Física Divertida*] é a resposta — negativa! — do autor a essa pergunta. Ele está convencido de que a física pode ser interessante, atraente e até divertida. Não pretende convencer ninguém desse facto, mas acha que o carácter lúdico da física não se encontra ainda suficientemente divulgado. (p. 7)

Sem querer enveredar por um discurso pessimista — como o Poeta, nós pensamos que "o sonho comanda a vida" —, e apesar de, com Fiolhais, julgarmos que muito pouco tem sido feito no sentido de potenciar as inegáveis virtualidades lúdicas da física, é nossa convicção que, existindo razões para optimismo, ele tem de ser um optimismo moderado. O que não implica necessariamente mitigado. Se pensássemos desse modo, careceria de sentido este trabalho, que tem como grande finalidade contribuir para a resolução de um problema pedagógico agudo: o *problema da resolução de problemas de física.*

Por outras palavras, há que ser realista e pensar que a física, particularmente em níveis de escolaridade já relativamente avançados — estamos a pensar, sobretudo, no ensino secundário, nível em que o nosso trabalho se desenrolou —, apresenta especificidades e peculiaridades intrínsecas, seja em termos da forma ou do conteúdo, que sempre se hão-de assumir como "vacinas" que dificultam (ou impedem mesmo) o contágio de que fala Hibbs.

O próprio Feynman (1988a) o terá pressentido quando, no contexto de uma conferência realizada na Nova Zelândia, subordinada ao tema *A Teoria da Electrodinâmica Quântica,* advertia:

> O que vou expor é o que se ensina aos estudantes de Física no terceiro ou no quarto ano da universidade — e ninguém pense que vou explicar isto de maneira que se entenda. Não, não serão capazes de entender. Então por que motivo aborrecê-los com isto? Porquê ficarem aqui sentados este tempo todo se não compreenderão o que vou dizer? O meu trabalho é convencê-los a não virarem as costas só porque não entendem. É que os meus estudantes de física também não percebem. Eu também não. Ninguém percebe. (p. 26)

Caricaturando muito embora a situação, brincando como era seu timbre, a mensagem que Feynman quis fazer passar traduz bem, em nosso entender, aquilo que frequentemente sucede a muitos alunos e até professores de física: falarem de física sem entenderem — algo que parece ter acontecido ao próprio Feynman!...

Conscientes dessas dificuldades, ao partirmos para a realização deste trabalho, movia-nos a percepção de que talvez fosse possível derivar contributos susceptíveis de criar um optimismo mais fundamentado, para que mais alunos possam contrair a "doença da alegria" numa disciplina que, "talvez mais do que nenhuma outra, tem contribuído para alterar culturalmente a face do mundo, pelas profundas modificações que a tecnologia, o seu braço armado, tem provocado na fábrica do mundo e do nosso viver" (Baptista, in Feynman, 1988a, p. 7).

O que pretendíamos, enfim, era tentar provocar nos alunos mudança de atitudes e de competências face à física e à resolução de problemas de física, de cambiantes equivalentes à que W. Pauli terá experimentado aquando do impasse em que se encontrava a física, poucos meses antes de a publicação por Heisenberg da Teoria das Matrizes ter apontado o cami-

nho para uma nova teoria quântica. Desiludido com a sua ciência, Pauli confessava, então, a um amigo todo o seu desencanto:

> At the moment physics is again terribly confused. In any case, it is too difficult for me, and I wish I had been a movie comedian or something of the sort and had never heard of physics. (in Kuhn, 1970b, p. 84)

Cinco meses mais tarde, curiosamente, o estado de espírito de Pauli relativamente à física tinha-se alterado profundamente. Outro era já o sentir das suas palavras:

> Heisenberg's type of mechanics has again given me hope and joy in life. To be sure it does not supply the solution to the riddle, but I believe it is again possible to march forward. (in Kuhn, 1970b, p. 84)

Se pudermos contribuir para que, tal como Pauli, mais alunos possam passar de um estado de desencanto (quase endémico) face à física e aos seus problemas, para um estado se não de "alegria" pelo menos de "esperança", terá o nosso trabalho valido a pena, terá ele alcançado os seus grandes objectivos. Objectivos que têm, como veremos, subjacente a convicção de que o ensino-aprendizagem da física, em geral, e a resolução de problemas de física, em particular, podem, com dificuldade é certo, experimentar uma transposição profunda, capaz de os fazer passar de uma situação em que o rotineiro, reprodutivo e automático imperam a uma situação em que o produtivo e metacognitivo se afirmam. Isso é, pensamos, o mínimo que a nossa sociedade, o nosso sistema educativo, devem reclamar de uma disciplina fundamental (sob diversos ângulos de análise) como é a física; isso é, no fundo, aquilo que de mais nobre a sociedade deve reclamar da escola em geral.

Aprender a Pensar: um Imperativo e Muitas Dissonâncias

> Education is the acquisition of the art of the utilisation of knowledge.
>
> —*Whitehead.*

A Lei de Bases do Sistema Educativo[1] português, no seu Artigo 2.º, estabelece, a dado ponto:

> O sistema educativo responde às necessidades resultantes da realidade social, contribuindo para o desenvolvimento pleno e harmonioso da personalidade dos indivíduos, incentivando a formação de cidadãos livres, responsáveis, autónomos e solidários.

Esse e, de modo geral, todos os princípios consignados no referido artigo, subordina M. Patrício (1988) a um princípio único que designa de *princípio da liberdade criadora.* Consciente do "erro" em que a adjectivação pleonástica de liberdade leva a incorrer — a liberdade é, em si, intrinsecamente criadora —, julga, ainda assim, o autor não fazer "mal enunciar o princípio da liberdade em termos reais em vez de formais, concretos em vez de abstractos, e explicitar com clareza que a liberdade é fecunda: individual e socialmente" (p. 11). Isso garante, em sua opinião, "o apartar das águas, deixando a liberdade liberta de dois inimigos seus: os inimigos declarados, que dizem que a odeiam e contra ela actuam; os inimigos ocultos, disfarçados de falsos amigos, que dizem que a amam mas a reduzem na prática a uma retórica vazia e estéril" (p. 11).

E para que, pensamos nós, o consignado na Lei de Bases não "passe de retórica vazia e estéril", é necessário que a escola e os agentes educativos — sob pena de, ainda que involuntariamente, se tornarem "falsos amigos" da liberdade criadora — sejam capazes, na intenção e na acção, de actua-

---

[1] Lei n.º 46/86, de 14 de Outubro

lizarem na prática a idealidade que o princípio consubstancia. Para que, nomeadamente, o professor possa estar "à altura de tão elevadas finalidades, não pode ser preparado apenas com o fito de ser competente nas matérias da especialidade do seu grupo de docência, nem com o anexar a esta uma competência didáctica mínima, nem mesmo com o de a conjugar com uma boa formação científico-educacional. É preciso um professor diferente (...): o professor-homem-de-cultura, o professor *clero,* o professor cultural" (Patrício, 1988, p. 15).

Se, com Whitehead (1970), assumirmos, todavia, que cultura é possuir conhecimento e "receptividade à beleza e à emoção humana", sim, mas também desenvolver "actividade de pensamento"[2], forçoso nos é concluir que o *professor cultural* só o é se, como advogava Leonardo Coimbra (1987), ajudar a "criar pensadores e não eruditos, cérebros instrumentos de conhecimento e não cérebros depósitos de erudição" (p. 21).

E para que um aluno seja formado não como "depósito de erudição" mas como "instrumento de conhecimento", isto é, para que nele possa ser desenvolvida a importante vertente cultural da actividade de pensamento, é mais uma vez Whitehead (1970) a lembrar que imperioso é conseguir que os conhecimentos que a escola lhe transmite não fiquem nele assimilados (memorizados) como meras "ideias inertes":

> That is to say, ideas that are merely received into the mind without being utilised, or tested or thrown into fresh combinations. (pp. 1-2)

Isto porque, na opinião do grande pensador, a educação com ideias inertes não se limita apenas a ser infrutífera; é, acima de tudo, perniciosa: deixa

---

[2] "Um homem meramente 'bem informado'" é, para Whitehead (1970, p. 1), "das criaturas mais aborrecida e inúteis existentes à face da Terra".

por resolver o problema da necessidade de "manter o conhecimento vivo", de esse conhecimento poder ser utilizado na resolução dos problemas com que o educando se defronta, quer na escola quer na sua vida quotidiana presente e futura. E como, para Whitehead, a "educação é a arte de utilização do conhecimento", uma educação que não prepare o aluno para resolver problemas não será uma verdadeira educação. Será, por ironia, uma falsa amiga de si própria.

A resolução de problemas ganha, desse modo, uma importância primordial, como forma de avaliar até que ponto a educação está ou não a cumprir os seus objectivos, seja ela a educação sistemática, a escola, ou assistemática, a família ou a sociedade, em geral. Dewey vai mesmo mais longe, ao considerar que os problemas (manifestem-se eles na forma de uma "perplexidade", de uma "confusão" ou de uma "dúvida") são fundamentais para a própria actividade de pensar: acabam por ser o estímulo, o rastilho ou a acendalha do pensamento. Nesse sentido, e por meio de sugestiva metáfora, Dewey (1933) considera o pensamento mais como "combustão provocada" do que como "combustão espontânea":

> The origin of thinking is some perplexity, confusion, or doubt. Thinking is not a case of spontaneous combustion; it does not occur just on "general principles". There is something that occasions and evokes it. (p. 15)

Essa íntima associação entre resolução de problemas e pensamento é recuperada mais tarde por outros autores. K. Duncker (1972), por exemplo, um clássico da resolução de problemas, identificava "problema" com toda a situação em que um indivíduo formula um *objectivo* — na sequência de uma perplexidade, confusão ou dúvida que quer ver resolvidas — mas não sabe, à partida, como alcançar esse objectivo. Vendo-se impossibilitado de ir da situação dada à situação desejada por simples "acção"

— por realização de operações óbvias, imediatas e praticamente automáticas —, terá de recorrer a ou desencadear pensamento. Esse pensamento visa conceber alguma "acção" (alguma *estratégia*) capaz de servir de ponte entre as duas situações (os dois estados de pensamento) entre os quais existe discrepância.

É a natureza do problema que determina o objectivo do pensamento, isto é, que o orienta e, orientando-o, o controla e o regula.

> The nature of the problem fixes the end of thought, and the end controls the process of thinking. (Dewey, 1933, p. 15)

Assim se explica, como teremos ocasião de discutir ulteriormente, que a identificação da *verdadeira natureza do problema* venha a ser, para a grande generalidade dos autores, o passo decisivo na resolução bem sucedida de problemas e, afinal, na qualidade do pensamento. É, dessa forma, um momento decisivo do que hoje se designa de *metacognição* (cognição da cognição ou pensar sobre o pensar), fenómeno cognitivo que tem, afinal, fortes pontos de contacto com o tipo de pensamento que Dewey (1933) mais prezava e cujo desenvolvimento mais recomendava — o *pensamento reflexivo* :

> The kind of thinking that consists in turning a subject over in the mind and giving it serious and consecutive consideration. (p. 3)

Encarada dessa forma, a resolução de problemas passa então a adquirir uma importância crucial como motor do acto de pensar e, com isso, da própria actividade inteligente. Indo nessa linha, Sternberg (1985b) concebe e descreve a inteligência como um processo mental que envolve resolução de problemas e que tem como componentes fundamentais

processos como o de planear, prever, monitorizar e avaliar a estratégia de resolução pensada e a solução encontrada.

Esta importante componente da inteligência corresponde à vertente mais dinâmica da metacognição, fenómeno intelectual crucial em resolução de problemas e, por isso, em qualquer actividade inteligente. Não é, pois, por acaso que a escolhemos como fonte de inspiração central deste estudo. Quer dizer: o estudo sobre resolução de problemas de física que estamos a descrever, não sendo um estudo sobre metacognição no sentido estrito, é, contudo, *um estudo de orientação metacognitiva,* quer na faceta do ensino quer na da aprendizagem.

Afirmada que está a importância dos problemas e da resolução de problemas como fonte, estímulo e motor da actividade de pensar, isto é, da "manutenção de um conhecimento vivo", decorre como pressuposto que grande parte da actividade educativa escolar lhe devesse consagrar uma parte significativa do seu tempo. Infelizmente, como muito bem assinala K. Popper (in Popper e Lorenz, 1990), "o facto é que a nossa pedagogia consiste em sobrecarregar as crianças com respostas, sem que elas tenham colocado questões, e às perguntas que fazem não se presta atenção" (p. 49). *Respostas sem perguntas e perguntas sem respostas* é, diz Popper, uma conduta pedagógica suportada pelo que designa de *teoria da cuba* do espírito humano:

> A nossa cabeça é uma cuba. Tem orifícios e, através desses orifícios, a informação sobre o mundo flui para dentro dela. Esta é igualmente a teoria básica da pedagogia [habitual]. (...) A cuba tem ainda um funil que lhe é colocado, e pelo qual lhe é vazado o saber. É esta a teoria comum. (p. 49)

A teoria da cuba tem correspondência naquilo que outros autores (por exemplo, Morin e Brunet, 1992) designam de "teoria do reservatório a

encher", a qual consiste em colocar o acento na matéria a ensinar, nas verdades e valores a transmitir. Para Morin e Brunet, o exemplo extremo desta filosofia pode ser encontrado na carta de Gargantua a seu filho Pantagruel. Nela, e na linguagem mordaz de Rabelais, "o enciclopedismo pedagógico" recebe a sua mais célebre descrição caricatural:

> Je t'admoneste, mon fils, d'apprendre les langues parfaitement, premièrement la grecque, comme le veut Quintilien, secondement, la latine et puis l'hébraïque pour les Saintes-Écritures, et la chaldaïque et l'arabique pareillement. (...) Des arts libéraux, géométrie, arithmétique et musique, je t'en donnai quelque goût quand tu étais à l'âge de cinq à six ans. Quant à la connaissance des faits de nature, qu'il n'y ait mer, rivière ni fontaine dont tu ne connaisses les poissons; que tous les oiseaux de l'air, toutes les herbes de la terre, tous les métaux cachés (...) Puis soigneusement, revois les livres des médecins grecs, arabes et latins, sans mépriser les talmudistes et cabalistes. (...) Et parce que science sans conscience n'est que ruine de l'âme, il te convient de servir, aimer et craindre Dieu. (Rabelais in Morin e Brunet, 1992, p. 178)

Não será difícil, mesmo numa análise sumária, encontrar nos currículos, programas e livros de texto utilizados nas nossas escolas, e na prática quotidiana da sala de aula, reflexos vivos desta perspectiva. Em lugar de consagradas ao desenvolvimento do aluno como ser-cultural, as escolas surgem transformadas em espaços "distribuidores de matérias" (Morin e Brunet, 1992). Matérias "inertes" que, em vez de potenciarem o desenvolvimento do cérebro dos alunos como "instrumento de conhecimento", o enchem de "nevoeiro" e "teias de aranha". É desse teor a crítica incisiva que à educação em geral G. Bateson (1986) quis endereçar, através de um dos metadiálogos que supostamente terá travado com a sua filha:

> FILHA: Pai, quanto é que tu sabes?
> PAI: Eu? Hum! Tenho cerca de uma libra de conhecimento.
> FILHA: Não sejas assim. É uma libra em dinheiro ou uma libra em peso? O que eu quero é saber quanto é que tu sabes.

PAI: Bem, o meu cérebro pesa cerca de duas libras e suponho que só uso uma quarta parte dele, ou que o uso com cerca de um quarto de eficiência. Portanto, digamos meia libra. (p. 37)

(...)

FILHA: Pai, porque não usas os outros três quartos do teu cérebro?

PAI: Oh, está bem... isso... o problema é que eu também tive professores e eles encheram-me cerca de um quarto do meu cérebro com teias de aranha. Depois li jornais e ouvi o que outras pessoas diziam e isso encheu o outro quarto com nevoeiro.

FILHA: E o outro quarto, pai?

PAI: Oh, esse é confusão que gerei para mim próprio enquanto tentava pensar. (p. 45)

Embora não imputando à escola a responsabilidade plena pelo facto de lhe ficar vedada a utilização de apenas um quarto do seu cérebro, o que é verdade é que o autor acaba por lhe atribuir responsabilidades não dispiciendas. Crítica que encontramos também, e de modo ainda mais fundamentado e contundente, em John Holt (1982) quando, no seu livro *How Children Fail* [3], se refere à "destruição da inteligência das crianças", facto em que à escola caberia uma quota parte bem significativa:

> Hardly any adult in a thousand, or ten thousand, could in any three years of his life learn as much, grow as much in his understanding of the world around him, as every infant learns and grows in his first three years. But what happens, as we get older, to this extraordinary capacity for learning and intellectual growth?
>
> What happens is that it is destroyed, and more than by any other one thing, by the process that we misname education — a process that goes on in most homes and schools. We adults destroy most of the intellectual and creative capacity of children by the things we do to them or make them do. We destroy this capacity above all by making them afraid, afraid of not doing what other people want, of not pleasing, of making mistakes, of failing, of being *wrong* ... We destroy the disinterested (I do *not* mean *un*interested) love of learning in children, which is so strong

[3] Título que, por sinal, e sintomaticamente, o autor não desdenharia mudar, segundo afirma, para *How Teachers Fail.*

> when they are small, by encouraging and compelling them to work for petty and contemptible rewards. (pp. 273-274)

Embora criticadas (por exemplo, por Novak, 1992) pelo quadro pessimista que traçam no tocante ao impacto efectivo da escola no desenvolvimento das capacidades intelectuais das crianças, o certo é que posições como a de Holt — legitimada por se tratar de alguém que analisa a situação por dentro, isto é, do ponto de vista de um professor no terreno — acabam por se revelar benéficas, quanto mais não seja pelo seu papel no despertar de consciências adormecidas.

Também no nosso país, e ao longo dos tempos, algumas vozes se têm levantado no sentido de alertar para esse tipo de situação. Sem pretensões de exaustividade, veja-se, por exemplo, o que Leonardo Coimbra (1987) nos tem a dizer acerca do ensino do seu tempo — e, com necessárias mas não significativas diferenças, também do nosso, acrescentamos nós:

> O ensino actual é a mais perfeita máquina de autómatos. Sendo apenas ou técnico (no melhor caso) ou descritivo, é somente um ornamento da inteligência. (p. 21)

António Sérgio (in Fernandes, 1979) denunciava, por seu lado, o carácter abstracto, verbalista e livresco do ensino, classificando em tom caricatural o "universo das escolas" como "um andaime de abstracções", e repudiando um ensino baseado na "mera *transmissão* do saber, na mera *aquisição de noções*". Lançando mão de sugestiva metáfora, Sérgio afirmaria que, no processo educativo, "o conhecimento é paquete, e a inteligência, porto"; e que, nesse sentido, a aquisição de conhecimentos não deveria ser mais do que "um meio (só um pretexto) de treinar o espírito do estudante para o gozo da actividade espiritual". Pelo que o alvo decisivo da acção educativa seria proporcionar a cada homem o necessário para que pudesse

conservar sempre "a juventude do espírito", a "plasticidade e a frescura do cérebro", para que nunca deixasse "secar a argila" (p. 66).

Mais próximo de nós, também Delfim Santos rejeitava uma educação como mera transmissão de saber passivo e fazedora de repetidores:

> Educar não é (...) transmitir saber, mas orientar no aproveitamento e no desenvolvimento das capacidades valiosas individual e socialmente. Formação do carácter, organização do comportamento nos aspectos do sentimento, da vontade, e da inteligência, eis o que vale muito mais do que fazer repetidores do que não podem compreender nem tem qualquer valor na fase em que se transmite. (in A. Carrilho, 1988, p. 402)

Apoiando-nos em Carl Rogers (1985) diremos, em suma, que "em educação tendemos a formar indivíduos conformistas, estereotipados, em vez de pensadores livremente criadores de originais" (p. 299). Face a essa constatação, Rogers decide questionar-se:

> Mas porque nos havemos de preocupar com isto? Se, como povo, preferimos o conformismo à criatividade, não poderemos fazer essa escolha? (p. 300)

E dá imediatamente a resposta:

> Na minha opinião, uma escolha dessas seria inteiramente razoável se não houvesse uma sombra que nos colhe a todos. Numa época em que o conhecimento, construtivo e destrutivo, avança a passos gigantescos (...), a adaptação autenticamente criadora parece representar a única possibilidade que o homem tem de se manter ao nível das mutações caleidoscópicas do nosso mundo. (p. 300)

E é precisamente este sentir de que a adaptação autenticamente criadora exige uma escola diferente que tem levado ultimamente a um movimento crescente no sentido de, em vez de fábrica de autómatos, a escola poder vir a ser centro de desenvolvimento do homem-pensador. Sentimento que é alimentado pela realização de que a nossa sociedade se encontra embrenhada numa profunda transformação social e cultural — a 3.ª Vaga de

que fala Alvin Toffler, isto é, a Idade da Informação —, transformação essa que irá dar (está a dar) origem a um novo mundo, a uma nova realidade envolvente, em que as competências superiores de pensamento podem ser uma questão de sobrevivência do próprio homem, ameaçada a partir do momento em que à necessidade de pensar parece sobrepor-se, como diz Patrício (1983), o "frenesim do fazer":

> A nossa época vive o frenesim do fazer. Pensa ela esse fazer? Pensa ela esse frenesim? As reflexões que se seguem procuram pôr o problema do pensar e do fazer, apontando claramente para a supremacia do pensar sobre o fazer e atrevendo-se a tomar posição em defesa do homem como ser pensante. (p. 54)

Por razões que, além do mais, e como quase sempre, têm muito de pragmático — desta vez, motivadas por algumas "ameaças" que sopram do Pacífico ao poderio da nação americana —, foi nos Estados Unidos que tal movimento irrompeu com mais vigor. Em 1984, Ronald Brandt, editor do *Educational Leadership,* escreveria, com efeito:

> We are seeing the beginnings of a major new movement to promote intelectual development . (in Chance, 1986, p. 1)

Resnick (1989), referindo-se à importância desse movimento, releva o pendor democratizante que o mesmo pode ter:

> It is a new challenge to develop educational programs that assume that all individuals, not just an elite, can become competent thinkers. (p. 7)

Quando em 1984, ainda nos Estados Unidos, a Associação para a Supervisão e Desenvolvimento Curricular (ASCD) inquiriu uma amostra significativa dos seus membros, acerca dos tópicos educacionais sobre que desejariam receber informação preferencial, não é, assim, por acaso que 82% dos mesmos tenham referido o ensinar/aprender a pensar (in Chance, 1986). Como não seria por acaso que, numa sondagem Gallup,

levada a cabo nesse país e no mesmo ano, e em que se solicitava aos professores e ao público em geral a hierarquização de determinados fins educativos quanto à sua importância, no topo das preferências dos professores e quase no topo das do público em geral, tenha figurado também o desenvolvimento da capacidade e das competências de pensamento (Costa, 1985a).

É no mesmo contexto que, também nos E.U., e sob a égide da Associação Americana para o Avanço da Ciência, surge o Projecto 2061 (A.A.A.S., 1989a, 1989b), o qual visa fornecer pistas para uma transformação radical do ensino das ciências[4], da tecnologia e da matemática naquele país. Foi iniciado no ano de 1985, um ano em que o Cometa Halley passou na vizinhança da Terra. Esta coincidência veio a inspirar o nome do projecto, por se ter constatado que as crianças que iriam poder assistir ao retorno em 2061 do mesmo cometa eram aquelas que na altura em que o projecto nascia iriam iniciar o seu percurso escolar:

> The project was motivated by a concern that many share for the inadequate education those young Americans will receive unless there are major reforms in science, mathematics, and technology education. (A.A.A.S., 1989b, p. vii)

O projecto tem como premissa fundamental a ideia de que as escolas devem colocar a ênfase não na quantidade indiscriminada de conteúdos a transmitir, mas naquilo que é essencial a uma alfabetização científica e efectiva, adequada às necessidades daquelas crianças quando adultos:

---

[4] O termo "ciências", em geral utilizado neste trabalho, não subsume, como é óbvio, todas as áreas de conhecimento que actualmente, com maior ou menor consenso, são incluídas na categoria epistemológica de "ciência". Usamo-lo como designante do conjunto das chamadas ciências físico-naturais: física, química, biologia, ciências da Terra e ciências do Universo, essencialmente (M. E. Santos, 1991).

> Education has no higher purpose than preparing people to lead personally fulfilling and responsible lives. For its part, science education — meaning education in science, mathematics and technology — should help students to develop the understandings and habits of mind they need to become compassionate human beings able to think for themselves and to face life head on. (A.A.A.S., 1989a, p. 12)

Embora menos pujante e de arranque mais tardio, também na Europa começaram, há alguns anos, a surgir ecos desse movimento. Num artigo intitulado *Teaching Thinking in Europe,* McGuinness e Nisbet (1991) tentam inventariar os trabalhos e projectos desenvolvidos e em desenvolvimento, caracterizando as tendências europeias quanto ao ensino das competências de pensamento e, consequentemente, da resolução de problemas. Como conclusão, julgam os autores haver legitimidade para afirmar não terem ainda passado da sua "infância" as tentativas sistemáticas de investigar e desenvolver abordagens concretas promotoras do desenvolvimento das competências e funções cognitivas de nível superior nos alunos europeus. Isto não invalida alguns sucessos mais ou menos dispersos referenciados na literatura, entre os quais se inclui o Projecto *Dianoia* (Aprender a Pensar), concebido e implementado pelo Departamento de Educação da Faculdade de Ciências de Lisboa, sob coordenação de Maria Odete Valente (M. O. Valente et al., 1987).

Em suma: entre aquilo que é reclamado à escola, no sentido de actualizar e ampliar o potencial cognitivo dos alunos, com vistas a uma adaptação criadora às transformações caleidoscópicas do mundo, e aquilo que é suposto a escola estar a conseguir realizar, parece existir um grande fosso, uma discrepância considerável. O vencer dessa discrepância passa necessariamente pelo assegurar de novas formas de actuação pedagógica e didáctica que, ao invés de contribuírem para "encher a cabeça dos alunos de ideias inertes", lhes possam proporcionar conhecimento vivo, capaz de,

como sugestivamente escreve Hills (1994), constituir um "pavimento", um "caminho para o futuro":

> Filling up the students' heads with knowledge they are unlikely to use might be cerebral practice for them, and even educational, but think how much more it might be so, if the knowledge acquired was a pavement to the future. The intellectual toolkit of the young needs therefore to be less the volume or level of knowledge in the head and more the confident experience of accessing knowledge and acquiring skills. (pp. 8-9)

Caminho para o futuro não só em termos da aplicação imediata de um produto acabado, mas também, ou preferencialmente, em termos do seu impacte no desenvolvimento cognitivo. E aqui vale a pena lembrar o que a esse respeito nos tem a dizer um autor recentemente descoberto no mundo ocidental, a saber, Lev Sémionovitch Vygotsky. Vygotsky nasceu a 17 de Novembro de 1896 na Bielorússia, a três meses de intervalo de Piaget (Agosto de 1896), e vem a morrer de tuberculose em 11 de Junho de 1934.

Num breve período, teve tempo suficiente de analisar a fundo as alternativas teóricas da psicologia do seu tempo, desenhar uma nova concepção sobre a origem e a natureza das funções psicológicas superiores, aí se incluindo o caso da linguagem. Desde a tradução para inglês, em 1962, do seu livro *Pensamento e Linguagem* (Vygotsky, 1986a, 1986b), a influência de Vygotsky não tem parado de crescer (Garnier, Bednarz e Ulanovskaya, 1991; Luria, 1985; Rieber e Cartoon, 1987; Rivière, 1988; Schneuwly e Bronckart, 1985; Vygotsky, 1978, 1979).

Como assinala Rivière (1988), Vygotsky continua a ser, nalguns aspectos, um psicólogo estritamente contemporâneo, revelando-se noutros, inclusivamente, aparentemente adiantado relativamente ao nosso tempo. Não

admira, assim, o comentário do seu grande amigo e colaborador Alexander Luria: "Vygotsky foi sem dúvida um génio[5]" (in Rivière, 1988, p. 12).

Outros autores acentuam o "ecletismo do seu pensamento", a "diversidade e riqueza" da sua produção intelectual, qualidades que não significam de modo nenhum nem dispersão nem superficialidade:

> Chez Vygotsky, prolixité ne signifie cependant ni éparpillement ni superficialité. Sous la diversité des thèmes, se développe une pensée profondément unitaire; mieux même, c'est par souci d'unité et d'intégration que Vygotsky aborde tant de champs apparement différents. Récusant la division de la psychologie en sousdisciplines il a tenté de rassembler tous les aspects des conduites humaines dans une démarche explicative d'ensemble. (Bronckart, 1985, p. 11)

Vygotsky constitui para nós, confessamo-lo, uma descoberta relativamente tardia no curso da pesquisa que agora concluímos. Descobrimo-lo numa altura em que as grandes decisões relativamente ao trabalho de campo a desenvolver e à sua realização efectiva haviam sido já tomadas. Apesar disso, inestimável se revelou o contributo das suas ideias na construção desta dissertação. Ele constituiu para nós a âncora de que necessitávamos para dar solidez às nossas próprias ideias, consistência ao quadro teórico que quisemos construir. Unidade, integração e ecletismo na diversidade, profundidade e riqueza sem dispersão nem superficialidade foram qualidades que tentámos conferir ao nosso trabalho.

Proporcionou-nos uma reflexão seguramente mais rica, mais eclética, mais integrada, numa palavra, mais humanizada. É que, mais do que investigador, mais do que psicólogo, Vygotsky foi professor, foi pedagogo,

---

[5] Génio a quem Stephen Toulmin se refere como alguém que, no campo da psicologia, transporta uma aura idêntica à de Mozart, no campo da música.

foi paidólogo; interessou-se por ciência, sim, mas também por poesia, por literatura e por filosofia, pelo sujeito mas sobretudo pelo homem. Foi, afinal, um homem-cultural, que, na vida curta que teve, soube potenciar a sua liberdade criadora.

Liberdade criadora que, sem negar a diferença, recusava todavia a ruptura, privilegiava a dialéctica, uma qualidade estruturante do seu modo de pensar:

> Para Vygotgski, la dialéctica no era un catecismo ni un dogma, sino sencillamente la estructura misma de su modo de pensar, casi tan natural como la respiración. (Rivière, 1988, p. 16)

Vygotsky via uma profunda linha de relação entre o seu próprio modo de pensar e o pensamento de Espinosa (1987). Esta via de conexão residia, precisamente, na essência dialéctica da filosofia de Espinosa, na concepção do homem como "instrumento de pensamento" da Natureza (concebida como unidade) "na compreensão do pensamento como acção do corpo organizado, como função própria do ser material na sua mais alta expressão" (Rivière, 1988).

Dificilmente deixaremos de ver aqui espelhado aquilo que antes advogámos dever ser a educação das crianças de hoje para o mundo de amanhã; dificilmente nos escapará a visão prospectiva de um Vygotsky totalmente virado para o futuro. É na noção vygotskiana de *zona do desenvolvimento próximo* (ou potencial) onde essa perspectiva se encontra mais bem consubstanciada.

Através dessa noção, o autor resume, do ponto de vista do ensino-aprendizagem, os princípios básicos da sua teoria cognitiva: a transformação de um processo interpessoal (social) em intrapessoal; os estádios de internali-

zação; e o papel dos educadores ou de colegas mais competentes. A *zona do desenvolvimento próximo,* afirma, "é a distância entre o *nível real de desenvolvimento* da criança, determinado pela sua capacidade de resolver um problema independentemente, e o *nível de desenvolvimento potencial,* determinado através da sua capacidade de resolução de um problema em cooperação com um adulto ou com um colega mais competente" (Vygotsky, 1978, 1979, 1986a, 1986b). Quer dizer: o nível de desenvolvimento real caracteriza o desenvolvimento cognitivo retrospectivamente, enquanto que a zona do desenvolvimento próximo o caracteriza prospectivamente.

Vygotsky criticava a tendência psicométrica em definir simplesmente o nível de desenvolvimento actual, e a propensão pedagógica em condicionar os objectivos didácticos a tal nível de desenvolvimento. A limitação dos objectivos educativos ao âmbito do desenvolvimento actual daria lugar a uma educação conservadora, pouco capaz de favorecer o desenvolvimento:

> El aprendizaje orientado hacia los niveles evolutivo que ya se han alcanzado resulta ineficaz desde el punto de vista del desarrollo total del pequeno. Este tipo de enseñanza no aspira a un nuevo estadio en el proceso evolutivo, sino que más bien va a remolque de dicho proceso. Así, pues, la noción de una zona de desarrollo potencial nos ayuda a presentar una nueva fórmula, a saber, que el "buen aprendizaje" es sólo aquel que precede al desarrollo. (Vygotsky, in Rivière, 1988, p. 60)

Na sua opinião, a educação deveria, assim, criar situações na zona do desenvolvimento próximo do aluno; situações não viradas exclusivamente para o já adquirido (para o presente), mas viradas, preferencialmente,

para o que o aluno pode conseguir em cooperação e diálogo com outros mais competentes, isto é, para o futuro.[6]

Mas é à escola, ou seja, à educação sistemática e organizada, a quem Vygotsky atribui o papel fundamental no ajudar o aluno a dar o salto cognitivo para o futuro; para ela remete a obrigação de criar situações de aprendizagem sistemática, consonantes com a zona de desenvolvimento próximo dos alunos (de cada aluno). E uma das ferramentas mais poderosas que, ainda de acordo com Vygotsky, a escola teria à sua disposição para cumprir esses propósitos, seria precisamente aquilo que ela melhor do que nenhuma outra instituição está em condições de transmitir: os *conceitos científicos* (em sentido lato).

Vygotsky havia, na verdade, feito distinção entre duas formas básicas de construção da realidade, que dão lugar a dois grupos distintos de conceitos: os *conceitos científicos* e os *conceitos espontâneos.* Os conceitos científicos desenvolvem-se no meio altamente estruturado e sistemático da sala de aula; os espontâneos, ao contrário, emergem da reflexão espontânea (ou estimulada, mas mais assistemática) da criança sobre a sua realidade envolvente.

A física, dada a riqueza dos seus conceitos, o desafio cognitivo que os mesmos podem implicar, é uma disciplina especialmente vocacionada para poder criar situações de sala de aula (que podemos designar de problemas) enquadráveis na zona de desenvolvimento próximo dos alunos. Só que, em geral, não tem conseguido actualizar essa vocação virtual.

---

[6] É nesse sentido que Bruner (1989) classifica a perspectiva de Vygotsky como uma teoria direccionada para o "futuro", por comparação com a de Piaget, mais preocupada com o "presente", e por oposição à de Freud, mais virada para o "passado".

A regra é o ensino da física pender para *situações extremadas,* sobretudo no que se prende com a resolução de problemas: situações problemáticas demasiado complexas, muito afastadas da zona de desenvolvimento próximo de cada aluno; situações problemáticas rotineiras, correspondentes àquilo que o aluno já sabe realizar. Ambas, embora por razões opostas, são incapazes de funcionar como estímulo e motor do desenvolvimento. E, quando tal acontece, a função potencialmente formativa da física como disciplina curricular acaba por ser malbaratada.

A Resolução de Problemas e o Ensino da Física: Onde as Discrepâncias se Acentuam

Nos últimos tempos, os processos cognitivos de algum modo relacionados com o conceito geral de resolução de problemas, e que tradicionalmente constituíam reserva praticamente exclusiva dos tratados de psicologia, têm despertado um interesse crescente entre os investigadores que trabalham no campo do ensino-aprendizagem da física.

Têm, nesse sentido, sido definidos dois objectivos importantes para o ensino dessa disciplina: por um lado, o de levar os alunos a um domínio seguro dos conceitos; por outro, o de os ajudar a desenvolver poderosas competências cognitivas de resolução de problemas (Mestre et al., 1993). Alguns autores e professores relacionam este último objectivo quase exclusivamente com a necessidade de prosseguimento de estudos, considerando-o uma das competências mais importantes que o aluno deve possuir ao entrar na universidade. Num estudo realizado por A. Peltzer (1988), solicitou-se a professores e investigadores de física que indicassem diversas competências intelectuais em função da importância relativa que lhes

atribuíam, como aptidão que o aluno universitário de física deveria dominar. A resolução de problemas foi precisamente das mais referidas, a par com a capacidade de visualização, o raciocínio matemático e o raciocínio lógico.

Outros associam o objectivo do desenvolvimento da competência de resolução de problemas de física mais ao contributo que a física pode dar no desenvolvimento do potencial cognitivo dos cidadãos, seja qual for o seu percurso enquanto alunos. É o que, para as ciências, e particularmente para a física, vem consignado nos princípios basilares do já referido Projecto 2061:

> Getting students to learn to do science must be a key goal of U.S. science education, for they need to be able to think and probe independently. Ultimately, in terms of the survival and progress of society, such an ability may be far more important than an understanding of specific scientific concepts, however fundamental they may be. (A.A.A.S., 1989b, p. 7)

Apesar disso, e como Yager (1986a, 1986b) salienta, é o primeiro objectivo (a transmissão de conteúdos) que acaba por ser a preocupação quase dominante dos professores de física no ensino secundário. Na verdade, em vez de orientados para a resolução de problemas, os cursos de física do ensino secundário estão quase sempre assentes na pura transmissão de conteúdos, constituindo-se em "amostras rápidas e superficiais" da panóplia de assuntos que os alunos irão encontrar na universidade (se seguirem cursos de física).

A tónica como que é posta na senda de preparar "parafísicos". É essa, pelo menos, a convicção de Baptista (in Feynman, 1988a), nas reservas que faz ao ensino das ciências, em especial ao da física:

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

> Muitas vezes penso se o ensino da ciência desde a escola primária não estará errado. Em particular o da física (...). Julgo que adoptámos, erradamente, um paradigma didáctico que se poderia resumir na seguinte forma: ensina-se física como se quiséssemos preparar parafísicos. De modo que ficamos a meio caminho e nunca alcançamos os objectivos que nos devemos propor não só em física, como em qualquer outra disciplina científica: por um lado, exercitar um certo modo de pensar as coisas e nas coisas; por outro, e talvez o mais importante, o de garantir a relevância do que se ensina para a compreensão do mundo à nossa volta. (pp. 7-8)

"Exercitar um modo de pensar" é coisa que, pensa Baptista, o ensino da física deveria perseguir, ficando, contudo, a "meio caminho" de o alcançar. E assim se desperdiçam as potencialidades da disciplina no desenvolvimento do aluno como ser pensante, homem-cultural.

A teoria da cuba de que fala Popper ou a metáfora do "reservatório" parecem ser, assim, os referenciais que, se não no campo dos princípios, pelo menos no da *praxis* efectiva, suportam o ensino da física. Pensando em concreto no caso português, Thomaz (1987) refere alguns resultados de investigação que indiciam que "na grande maioria dos casos, as aulas de física têm sido conduzidas numa perspectiva tradicional e são sobretudo centradas nos conteúdos da disciplina, o programa, revelando que a abordagem de *transmissão cultural* do ensino tem dominado a educação em física" (p. 123).

É a mesma autora a chamar a atenção para o desencanto e o descontentamento a que este tipo de abordagem da física tem conduzido (Thomaz, 1987). Desencanto e descontentamento tanto mais justificáveis quanto é certo que, mesmo no plano da transmissão, os resultados obtidos não têm sido famosos. Com efeito, estudos realizados em Portugal por Thomaz e Vasconcelos, com alunos frequentando cursos universitários na área de ciências, revelaram que, "mesmo nessa população, cuja escolaridade em

física, ensinada como tal, tinha sido [até à data] de pelo menos 4 anos (excluindo portanto ideias físicas ensinadas noutra disciplina tais como Meio Físico e Social, Ciências da Natureza e Biologia) certos conceitos básicos não foram assimilados" (Thomaz, 1987, p. 122).

Compreende-se, assim, que, na primeira Sessão Plenária da 5.ª Conferência Nacional de Física, realizada em Braga, em Setembro de 1986, sob o tema "O Ensino da Física em Portugal: Problemas e Perspectivas", J. N. Urbano venha a traçar uma panorâmica algo cinzenta do estado do ensino da física no nosso país. Na sua opinião, "os elevadíssimos índices de insucesso escolar nas cadeiras de Física e o lugar, bem na cauda, que as licenciaturas nessa disciplina ocupam nas listas de prioridades dos candidatos ao ingresso no ensino superior são apenas dois dos muitos sintomas de que a situação se tornou insustentável" (Urbano, 1987, p. 1). Mais à frente, refere-se, nos seguintes termos, ao escasso apelo que a disciplina suscita nos alunos do ensino secundário:

> O aluno do ensino secundário sente-se, em geral, pouco atraído pelo estudo da Física. Acha as aulas fastidiosas, as matérias difíceis, a exigência dos professores injustificada. (p. 2)

Reconhece, por outro lado, ser esse um aspecto em que não nos encontramos isolados: "a crise da Física no nosso país" não será essencialmente distinta da que acontece noutros países. Nalguns deles, "o número de alunos tem vindo a decrescer a um ritmo muito acelerado e há países onde a Física deixou de ser uma disciplina obrigatória" (p. 3).

Por outras palavras, a crise da física é um fenómeno universal, a implicar, como pensa Thomaz (1987), " a necessidade urgente de uma mudança de perspectiva sobre o ensino" e a impor uma "procura de ideologias educacionais que possam promover essa mudança" (p. 124). Necessidade essa

que é também reclamada por Baptista (in Feynman, 1988a), sustentando que a mudança terá necessariamente de contemplar "uma constante actualização das matérias para as manter em sintonia com os constantes desenvolvimentos tanto da física básica como dos desenvolvimentos tecnológicos que dela arrancam: na verdade, a maior aventura intelectual do nosso tempo". De outro modo, acontece "o que é singularmente grave, um desajustamento existencial entre o quotidiano e a nossa percepção dele, o que nos torna estrangeiros do nosso tempo, alienados do mundo a que pertencemos na época em que o habitamos" (p. 8).

A preocupação de Baptista está em sintonia com as tendências que, nos últimos anos, se têm vindo a desenhar, nomeadamente as que têm a ver com a necessidade de incorporar mais intensamente no ensino da física os aspectos tecnológicos e sociais. Em 1980, John Ziman (citado em Yager, 1988) usa o trinómio Ciência/Tecnologia/Sociedade como representando a opção que, no seu entender, deveria passar a ser contemplada na definição e execução de currículos e programas de ciências para o ensino elementar e secundário a que, obviamente, a física não se deveria furtar. Nessa linha, Linjse et al. (1990) reclamam para o ensino da física a seguinte orientação:

> Physics education should not only focus on the teaching of physics as a discipline in order to prepare a relativelly small number of students for becoming an academic scientist, but it should also pay attention to technological and social aspects of science in order to prepare all students for living in a technologically developing, democratic society. (p. 95)

Pertinente e integradora é, a esse respeito, a proposta de Kirkham (1989), ao preconizar para a educação em ciências, e obviamente para a educação em física, um currículo capaz de assegurar um equilíbrio sinergético en-

tre três vectores fundamentais: os *conteúdos*, os *processos* e os *contextos* (individuais, tecnológicos, sociais e escolares):

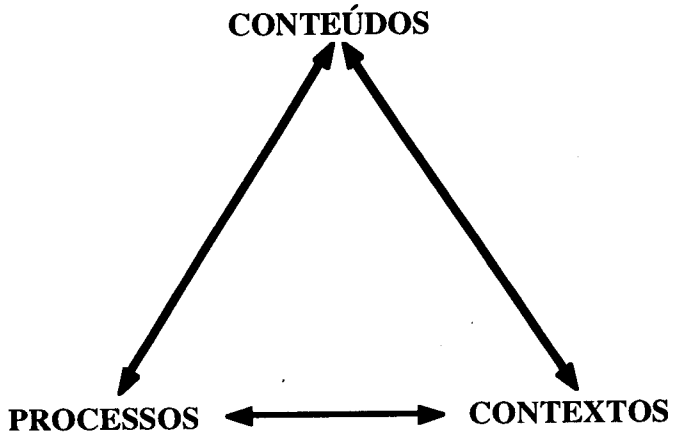


Fig. 1 — *Conteúdos, Processos e Contextos: um Equilíbrio Reclamado*

Partidários de uma perspectiva deste tipo, restringe-nos, contudo, a necessidade de não nos afastarmos do contexto deste estudo. E esse decorre, sobretudo, na zona de interface conteúdos-processos, sendo a resolução de problemas um meio de estudar e vitalizar essa interface. E a verdade é que a resolução de problemas tem sido — talvez que o possa deixar de ser, quando implementados currículos daquele tipo!...— o "calcanhar de Aquiles" no processo de ensino-aprendizagem da física. Situação que é agravada pelo facto de, sucesso em física ser muitas vezes identificado com sucesso na resolução de problemas quantitativos de física.

A resolução de problemas — mais precisamente o insucesso generalizado dos alunos de qualquer nível nessa tarefa — é, sem dúvida, uma das questões mais graves com que se defronta o ensino-aprendizagem da física. Gil Pérez e Martinez Torregrosa (1983a, 1983b) julgam dever atribuir grande parte desse insucesso à orientação que tem sido seguida em resolução de problemas.

Apresentando evidência empírica por si recolhida, acentuam que, em geral, não se ensina propriamente a resolver problemas, mas a memorizar soluções explicadas pelos professores ou proporcionadas pelos manuais, e encaradas como meros exercícios de aplicação. Concluíram, na verdade, que as únicas causas de fracasso na resolução de problemas de física, apontadas por professores de física por si inquiridos, e que surgiam em percentagem considerável, eram a leitura incorrecta do enunciado (47%), a deficiente preparação teórica (40%) e a deficiente manipulação do material matemático (38%). Ao atribuírem o insucesso preferencialmente a esses factores, os professores evidenciam assim uma concepção dos problemas como simples exercícios de aplicação ou, inclusivamente, como mero conhecimento declarativo. A esta postura atribuem alguns autores a causa principal da dificuldade na abordagem de verdadeiros problemas, na medida em que a tónica na realização de exercícios provoca "rigidez funcional" (Wertheimer, 1968), que seria o principal obstáculo para um pensamento realmente produtivo.

Trata-se de uma postura que é, afinal, coerente com o que vimos serem as opções didácticas habitualmente tomadas para o ensino da física: opções baseadas na simples transmissão de matéria. Mas é precisamente aqui que o insucesso dessas opções resulta mais visível e mais gravoso, uma vez que o grau de transferência acaba por ser mínimo, limitando-se os alunos a "reconhecer" problemas já resolvidos ou a desistirem das tarefas (Gil Pérez e Martinez Torregrosa, 1987; G. Gilbert, 1980; Mettes et al., 1980).

As abordagens tradicionais para ensinar a resolver problemas de física, ou promover atitudes e competências favoráveis a esse tipo de actividade, acabam, desta forma, por levar os alunos a pensar que resolver problemas

de física equivale a fazer exercícios de cálculo matemático. Ao resolver um problema perante uma turma, o professor de física, podendo muito embora referir de passagem os princípios e procedimentos que utiliza, quase sempre se limita a escrever as fórmulas resultantes da aplicação desses princípios. Como consequência, os alunos indevidamente concluem que o conhecimento qualitativo não passa de um conjunto de abstracções supérfluas que não têm grande utilidade na resolução de problemas (Mestre et al. 1993).

E assim o aluno desenvolve o que designamos de "obsessão pela fórmula"; e assim a física muito dificilmente se conseguirá livrar da reputação de ser, como diz Hewitt (1983), uma "miscelânea de equações matemáticas da pior espécie: equações literais". O estudo da física fica assim reservado àqueles (poucos) que têm queda para a matemática; facto que, como é natural, Hewitt vivamente deplora:

> I have for a long time felt that the study of physics is too important, too fascinating, too beautiful to be restricted to the few who possess a knack for mathematical analysis. (p. 305)

Até porque, pensa ainda Hewitt, pode até acontecer que seja fácil *ensinar* física matematicamente; é porém um logro admitir que seja igualmente fácil *aprender* física dessa forma. Coerentemente, advoga um ensino da física mais qualitativo, mais conceptual. E compara um aluno que se põe a "resolver problemas de física sem compreender os conceitos subjacentes" a um surdo que escrevesse música ou a um cego a pintar:

> Let me put it in very strong terms to make my point: A physics student who lacks a conceptual understanding of physics and who is working physics problems is akin to a deaf person writing music or a blind person painting. (p. 309)

Acresce, por fim, uma outra razão: a de que uma didáctica que privilegia apenas o quantitativo, os exercícios, que desenvolve a obsessão pela fórmula, acaba por cair na sua própria armadilha. Isto porque, como releva Hewitt, contando a sua própria experiência como aluno de física, rapidamente alguns alunos aprendem a "jogar o jogo dos cursos de física", isto é, a tirar partido das fraquezas dessa própria didáctica:

> Students learn very quickly how to play the physics course game. The name of the game is problem solving. I can remember how I played the game when I was a student. Given an assignment (always problem solving), I'd go directly to the back of the chapter and attempt the problems first hand. Some I could do because they were like others I'd done before. To solve the others I'd go back through the chapter looking for the correct formulas. The pages I'd read were the ones with formulas and those with sample problems and solutions. Some pages were all writing — all prose. I had no time for such prose — I had to solve problems! The exams in the course were of course all problems. Nothing else. There were no questions calling for qualitative explanations. Some problems required a conceptual understanding of some of the physics, but not all of them. Besides, there was partial credit. What was the value of ideas like the conservation of energy? (...) Unless physics material was a direct aid to problem solving problems, it had no value. (Hewitt, 1983, p. 309)

Em síntese: o método mais comum de ensinar a resolver problemas de física assenta predominantemente no proporcionar ao aluno problemas-exemplo e treino em problemas em tudo semelhantes. Este método acaba por não se revelar nem eficaz nem frutífero. Na verdade, muitos alunos sentem, mesmo assim, enormes dificuldades em resolver problemas de física, sendo as suas estratégias e processos de resolução incipientes, inconsistentes e pouco reflectidos. Os processos de pensamento e o conhecimento (declarativo e processual) requerido para uma resolução eficaz são bastante complexos e, em certos aspectos, ainda pouco conhecidos. É por isso muito improvável que possam os mesmos ser aprendidos, de

facto, com base numa mera exemplificação de soluções e numa prática rotineira.

Uma *nova didáctica* é pois necessária. Só ela poderá contribuir para a mudança que as circunstâncias reclamam; só ela poderá contribuir para a resolução do "problema da resolução de problemas de física". Que é, no fundo, o nosso problema, a nossa problemática, o pano de fundo deste trabalho. E é essa problemática que, em jeito de síntese das discrepâncias antes identificadas, passamos de seguida a explicitar.

Problemática do Estudo: Rumo a uma Nova Didáctica da Resolução de Problemas de Física

Começamos por resumir algumas das discrepâncias anteriormente apontadas entre os ideais educativos reclamados e as realidades vigentes. A caracterização dessas discrepâncias acaba por ser também a caracterização da problemática antes referida.

- Desenvolver o potencial intelectual dos alunos, a sua liberdade criadora, é uma missão que a escola deverá prosseguir, com maior acuidade na época que atravessamos e no futuro com que nos defrontamos.

  > *A escola, ao privilegiar actuações enquadradas na "teoria da cuba" ou do "reservatório a encher", não está a conseguir levar satisfatoriamente a cabo essa missão.*

- A física é uma disciplina à partida bem posicionada para ajudar a escola a desempenhar a missão que lhe compete, em termos do desenvolvimento pleno dos alunos.

  O ensino da física, assente como está na transmissão de conhecimento estático, sendo como é rotineiro, abstracto e dissonante dos contextos envolventes, acaba por malbaratar aquelas virtualidades.

- A resolução de problemas de física pode ser importante no criar de situações capazes de promover o salto qualitativo para o futuro, assegurando o desenvolvimento pleno e harmonioso do aluno.

  Os problemas que a física habitualmente proporciona são quase sempre desajustados desses propósitos, seja por serem demasiado complexos, seja por se revelarem demasiado rotineiros.

As discrepâncias reclamam novas abordagens. A abordagem para o ensino da física, e para a promoção do desenvolvimento da competência dos alunos na resolução de problemas de física, que nos propusemos desenhar e testar pretende romper com algumas condicionantes inibidoras: substituir fragmentação por integração e organização; o quantitativo pelo qualitativo-quantitativo, evitando ou atenuando a obsessão pela fórmula; a resolução rotineira de problemas pela resolução metacognitiva. A sua validação no campo impunha a necessidade de encontrar respostas para múltiplas *questões.* Das mais importantes destacamos:

- *Favorecerá essa abordagem o desenvolvimento da capacidade de pensar, particularmente o "pensar a física e com a física"?*

- *Favorecerá ela o reforço da competência dos alunos na resolução de problemas de física, quer de natureza qualitativa quer quantitativa?*

- *Conseguirá ela promover o desenvolvimento de estratégias e procedimentos metacognitivos de resolução de problemas, particularmente a identificação e caracterização da verdadeira natureza do problema, a construção de representações adequadas do mesmo, a diferenciação entre material acessório e relevante, a planificação, a execução conscientemente controlada e a avaliação das estratégias de resolução?*

- *Favorecerá uma tal abordagem o desenvolvimento de comportamentos, hábitos e atitudes metacognitivas (experiências metacognitivas) potenciadores de estados de resolução mais competentes?*

- *Poderá a mesma contribuir para uma mudança positiva de atitudes — em geral, tendencialmente pouco favoráveis — face à disciplina em causa (CFQ) e à resolução de problemas de física?*

- Uma questão colateral se nos afigurava ainda como importante: *sendo certo que diversos são os factores que poderão condicionar as mudanças, e por vezes insuspeitadas as formas sob que o fazem, será que factores como o nível de pensamento lógico dos alunos e a sua individualidade, operacionalizada com base nos estilos epistémicos, se assumem como factores condicionantes e, sendo assim, como preditores da resolução de problemas?*

Essas eram, no essencial, as questões que nos propusemos investigar. Uma vez que na literatura encontrávamos razões para admitir a plausibilidade

duma resposta positiva para as mesmas, segue-se que essas questões configuravam também as nossas *hipóteses de partida,* os guias heurísticos da nossa acção e do nosso labor investigativo, os "andaimes"[7] do edifício que nos propusemos edificar.

Tais hipóteses não constituem de modo nenhum o "próprio edifício". Isso só poderá acontecer quando se envereda por caminhos de actuação rígidos e quantitativamente ortodoxos, caminhos esses que procurámos evitar: se bem que de cunho dominantemente quantitativo em termos de produto, a nossa pesquisa não o foi de todo em termos de meios e postura. Esta encontrava-se impregnada de muito tempero qualitativo, de muita flexibilidade e conduta evolutiva, de alguns matizes de pesquisa de tipo investigação-acção. Por outras palavras, àquele conjunto de questões (hipóteses) outras se haverão de juntar ao longo deste relatório.

Diversa e complexa é pois a problemática que nos propusemos estudar; como diverso e complexo é o laboratório escolhido: a sala de aula. Mas se essas qualidades podem, por um lado, impor (e impõem, por certo) condicionantes e constrangimentos vários, funcionam, por outro, como um desafio motivador. Desafio, na medida em que se trata de *um estudo de algum modo inovador* : não abundam, de facto, na literatura referências a intervenções que se possam caracterizar pelo grau de abrangência e pela intensidade das relações que procurámos imprimir entre conteúdos e processos de pensamento. Mas desafio, também, no sentido em que constitui

---

[7] Como diz Goethe (1992), "as hipóteses são andaimes que o homem levanta para construir e que desmonta quando a construção está pronta. Eles (os andaimes) são indispensáveis ao trabalhador; somente este não deve tomá-los pelo próprio edifício" (p. 232).

uma aposta num tipo de empreendimento investigativo que não colhe apoio em todos os quadrantes da educação em ciências. Autores existem que, com efeito, julgam prematura a realização desse tipo de iniciativas no âmbito da resolução de problemas.

Garrett (1987), por exemplo, ao realizar uma análise exaustiva e comparativa dos aspectos mais investigados na resolução de problemas de ciências, chega à conclusão de que existe um amplo consenso de que o conhecimento do processo de resolução de problemas e as suas relações com outros factores cognitivos e afectivos está ainda num estado rudimentar. De opinião idêntica são Good e Smith (1987), quando sustentam que, apesar dos progressos, o estudo da resolução de problemas ainda não passou da sua "infância".

Coerentes com essas conclusões, Garrett e Good e Smith pronunciam-se pela inutilidade de abordagens que tentem levar a resolução de problemas à sala de aula, enquanto a natureza e os mecanismos que lhe dão corpo não forem razoavelmente conhecidos. Compreendendo, muito embora, as razões que levam aqueles autores a defender uma tal posição, julgamos — e os objectivos deste nosso estudo constituem disso prova cabal — que já muito de positivo, relevante e pertinente se conhece a esse respeito, para que as intervenções em situações reais de sala de aula se justifiquem e ganhem acuidade.

Foi nesse pressuposto que decidimos avançar para o estudo em causa. Dele elaborámos o presente ***relatório*** que, para além do módulo de *introdução,* é composto por *quatro capítulos de fundamentação teórica, dois capítulos* para apresentação da *metodologia do estudo* e dos *resultados*

obtidos, o módulo de *conclusão,* a *bibliografia* consultada e um conjunto de *anexos* complementares.

A Estrutura do Relatório

Parte I: Fundamento Teórico. O fenómeno educativo é, por natureza, um fenómeno complexo, assente numa dinâmica onde coexistem interacções e sinergias múltiplas e frutuosas, mas também tensões e constrangimentos inibidores. Diversos e variados são, pois, os parâmetros envolvidos, as situações e cenários possíveis. Avançar para um estudo que procura investigar esse fenómeno em toda a sua força e plenitude, isto é, em cenário de sala de aula (em laboratório real), não poderia deixar de ser um empreendimento semeado de obstáculos, uma tarefa que, tanto nos objectivos como nos meios e produtos, implicava riscos e exigia referenciais seguros (pedagógicos, epistemológicos e metodológicos). A teia complexa de variáveis em jogo, a multitude de aspectos a considerar, dificilmente se compadeceriam com o recurso a modelos simplistas, estereotipados e por isso artificiais, tantas vezes desregradamente utópicos. Necessitava-se, pelo contrário, de quadros de referência abrangentes, holísticos e sistémicos.

Deparava-se-nos, assim, uma tarefa complicada. O campo teórico em que nos iríamos mover, o da resolução de problemas, é um campo vasto, prolixo quanto baste, fragmentado. Diversas são as teorias, inúmeros os paradigmas que o suportam. Rupturas, incomensurabilidades e antagonismos nele, muitas vezes artificial e redutoramente, imperam. É assim que, após uma primeira análise, concluímos que, face aos objectivos que perseguíamos, à necessidade manifesta de encontrar suporte teórico e justificação

para o amplo leque de variáveis a estudar, teríamos muito a ganhar se tentássemos construir o nosso próprio referencial, procurando pontes onde o fosso era a regra, complementaridades onde antagonismos reinavam.

Estávamos (estamos) cientes dos perigos (incoerências epistemológicas, por exemplo) envolvidos sempre que se procuram pontes onde as incomensurabilidades parecem pontificar. Mesmo assim, decidimos correr o risco. E julgamos ter conseguido, quanto mais não seja em parte, alcançar aquela meta. É preciso dizer, porém, que unificar amorfamente não foi contudo nossa intenção. Antes foi o de construir um quadro de referência teórico, diversificado e integrado, capaz de dar conta de toda aquela teia. A construção desse *quadro de referência* constitui o grande objectivo desta parte do trabalho.

Esse quadro de referência inclui a *revisão de literatura.* Esta não segue, porém, os cânones habituais: é mais interpretativa do que descritiva, mais opinativa do que objectiva. Pode, nomeadamente, criticar-se a sua extensão. Assumimos o facto. Mas julgamo-lo justificável: a complexidade e a abrangência do tema em foco, a dispersão, fragmentação e redundância mesmo da literatura respectiva, tornavam-no aconselhável, uma vez que se queria optar por uma revisão fundamentada, comentada, de forte *cunho didáctico.* Tendo em conta todo o manancial de fontes bibliográficas que tivemos de (e pudemos) consultar, julgámos, por outro lado, valer a pena contribuir para dar alguma ordem e alguma consistência a um campo dessas qualidades tão carenciado, como recorrentemente o sentem (porque o sofrem) aqueles que trabalham em resolução de problemas.

Especificando um pouco mais, diremos que os quatro capítulos que compõem a Parte I do relatório visam, no essencial, o que a seguir se enuncia:

• ***Capítulo 1.*** Dado que diversos são os significados atribuídos aos termos "problema" e "resolução de problemas", procura-se, num primeiro ponto, encontrar definições e caracterizações suficientemente consensuais; releva-se, nomeadamente, o *carácter idiossincrático da noção de problema* e a sua consequente relatividade de categorização; apontam-se várias tipologias de problemas, distinguindo-se particularmente entre problemas da vida real e problemas académicos. Assume-se que os problemas em tratamento são *essencialmente problemas académicos,* embora não tradicionais; são formulados na base de enunciados amplos e não condensados, com alguns matizes dos problemas da vida real. Discutem-se os diversos significados da expressão resolução de problemas: como estratégia de aprendizagem, como método de ensino, como competência cognitiva, como ocasião de treino de competências cognitivas. É essencialmente nestes dois últimos aspectos que aqui a encaramos. Quer dizer: a nossa abordagem não pretende ser uma estratégia de ensino-aprendizagem baseada na resolução de problemas; antes pretende ser uma abordagem em que a resolução de problemas se assume como uma oportunidade de "dar vida ao conhecimento", de "treinar o pensamento". E são precisamente as interacções, as relações epistemológicas e psicológicas entre resolução de problemas, conhecimento e pensamento, aquilo que constitui o alvo central deste primeiro ponto. Relativamente ao conhecimento, faz-se finca-pé na necessidade de o pensar na sua dimensão dupla, estática mas também dinâmica, declarativo mas também processual.

Sendo a resolução de problemas um processo reconhecidamente complexo, tenta-se, a seguir, discutir alguns dos importantes mecanismos psicológicos que lhe dão corpo; relevam-se, nomeadamente, os mecanismos da *representação* e da *organização do conhecimento,* dois suportes fundamentais da proposta didáctica que delineámos e ensaiámos.

• ***Capítulo 2.*** Parte-se depois para a discussão dos *factores psicológicos* mais importantes que influenciam a resolução de problemas. Releva-se o facto de, ao resolver problemas, ser todo o sujeito psicológico a se comprometer com a tarefa e não apenas parte dele. Nesse comprometimento, ganham relevância *recursos de tipo afectivo-motivacional* (salientando-se a importância que hoje lhes começa a ser conferida), *factores de individualidade* tais como os *estilos cognitivos* (com ênfase concreta nos *estilos epistémicos*) ou o *desenvolvimento cognitivo* (discutindo-se, a propósito, a influência do nível de *pensamento lógico piagetiano* na resolução de problemas) e por fim (mas não por último) *recursos metacognitivos,* tentando-se mostrar até que ponto a metacognição pode constituir um conceito integrador da resolução de problemas, uma forma de agregar noções dispersas na literatura e de esferas semânticas aparentemente disjuntas. Em virtude da já reivindicada orientação metacognitiva deste estudo, dedica-se a este último aspecto uma relevância especial. Começam mesmo a desenhar-se aqui as fundações do edifício que procuramos construir: a proposta de uma nova didáctica para a resolução de problemas de física potenciadora do sucesso dos alunos.

• ***Capítulo 3.*** Configura este capítulo uma sequência de dois pontos com base nos quais se desenvolve argumentação que põe em questão o chamado *modelo da mudança conceptual,* se encarado como meta preferencial para a educação em ciências, contrapondo-se a finalidade de ensinar a pensar, uma meta mais em sintonia com as necessidades e desafios dos nossos tempos e, afinal, de todos os tempos[8]. Para isso, começa-se por tecer considerações críticas sobre a epistemologia construtivista, na sua relação com a educação em ciências. Advoga-se um *construtivismo total,* feito de conhecimento *declarativo* mas também *processual,* e que à ruptura entre o conhecimento científico e o conhecimento espontâneo prefere a busca de sinergias, de interacções entre ambos, sem negar, obviamente, antes consciencializando, aquilo que os distingue. Socorrendo-nos grandemente de Vygotsky, mostramos como o conhecimento espontâneo acaba por ser importante na adaptação à vida e como ele pode inclusivamente servir de berço ao desenvolvimento do conhecimento científico. Tal como aquele autor, concebemos ambos, conhecimento espontâneo e conhecimento científico, como duas linguagens distintas: como uma língua estrangeira (o conhecimento científico) e como a língua materna (o espontâneo): a primeira mais sistemática e mais consciencializada; a segunda, menos sistemática e mais automatizada. Aprender línguas estrangeiras não implica ter que desaprender a língua materna; aprender conceitos científicos não implica ter que desaprender conceitos espontâneos. E tal como uma língua estrangeira pode ajudar a tomar consciência das estruturas da

---

[8] Como pensa Patrício (1983), pensar é, na verdade, uma "qualidade essencial" ao homem enquanto homem:

> Vivermos, homens que somos, sem pensar? Mas isso seria pormos entre parêntesis nem mais nem menos que a nossa qualidade essencial de homens. Pois o homem é precisamente, como disse Descartes, uma coisa que pensa. (p. 58)

língua materna, também o conhecimento científico pode ajudar a tomar consciência do conhecimento espontâneo. Conclui-se esta sequência de dois pontos interligados com a discussão do *aprender a pensar,* como um movimento necessário para a educação em ciências; releva-se, em especial, o papel da resolução de problemas a esse respeito.

Passa-se depois a uma sequência de três pontos, com a qual se procura consolidar as *fundações da nova didáctica de resolução de problemas* para cujo desenvolvimento queremos contribuir. Com a finalidade de tomar consciência dos obstáculos que essa empresa levanta, discutem-se de início algumas condicionantes, particularmente as que têm a ver com dissonâncias não explicitadas e não consciencializadas entre concepções científicas e concepções espontâneas. Dissonâncias essas que se assumem como especialmente marcantes no caso da *mecânica newtoniana,* área da física em que a nossa experiência se desenrolou. Encontra aí justificação a relevância que é conferida à discussão das sérias dificuldades de aprendizagem que os alunos costumam experimentar no âmbito dessa área programática.

No ponto seguinte, tenta-se apresentar novas achegas sobre o que tem sido a orientação didáctica dominante, em termos da resolução de problemas de física, discutindo-se os seus vícios e limitações, a sua ênfase exagerada no quantitativo. Como reacção, releva-se a opinião daqueles que se pronunciam a favor de uma física mais qualitativa, sem que isso queira de modo nenhum significar o abandono total do quantitativo; apenas quer significar que esta dimensão necessita de ser adequadamente moderada, gerida com parcimónia, para que o qualitativo possa ter o lugar importante que lhe assiste no ensino-aprendizagem e na resolução de problemas de física.

• ***Capítulo 4.*** Conclui-se esta parte de enquadramento teórico com a apresentação fundamentada de alguns contributos finais para a consolidação do edifício didáctico que procuramos. Destaca-se, nomeadamente, a necessidade de conseguir uma transposição efectiva de condutas, em que automatização, mecanização e procedimento assistemático sejam substituídos por condutas em que se privilegia a consciencialização metacognitiva e a utilização de modos de pensar sistemáticos. Faz-se finca-pé na necessidade de explicitação pelo professor dos processos de resolução que utiliza, tanto mais justificada quanto é certo serem muitos desses processos tacitamente conduzidos. Termina-se, sugerindo importantes modelos em que essas linhas de força vêm, total ou parcialmente, contempladas.

Parte II: Componente Empírica. Inclui-se nesta secção matéria respeitante à metodologia que serviu de suporte ao estudo (fundamentação, enquadramento epistemológico e instrumentação), bem como à descrição dos resultados obtidos e à respectiva discussão.

• ***Capítulo 5.*** Tenta abordar as *opções metodológicas, técnicas e instrumentais* utilizadas. Começa-se por fundamentar aquela que é a nossa postura metodológica estruturante, no que diz respeito à investigação em educação, concretamente em cenário de sala de aula. Postura metodológica que, recusando antagonismos, rupturas inexoráveis, incomensurabilidades forçadas, preza, antes, a procura de sinergias, de complementaridades, do diálogo e da cooperação possíveis.

Nesse sentido, justificamos a nossa convicção de que, em educação, quantitativo e qualitativo, ao invés de antagónicos, devem ser encarados

como complementares. Razões que procuramos no campo epistemológico, mas também no campo educacional; razões que encontramos, enfim, nos sinais dos tempos, no emergir do que, "à falta de melhor designação", Boaventura Sousa Santos (1990) rotula de "paradigma da pós-modernidade".

A orientação é, como já dissemos, dominantemente quantitativa em extensão, mas fortemente qualitativa em intenção, mas também em acção. Na vertente quantitativa, justificamos a opção por um *desenho quase-experimental com grupo de controlo não equivalente.* Pomos em confronto as abordagens *tradicional* (grupo de controlo) e *experimental,* sendo pilares substantivos desta última, os seguintes:

- Uma *perspectiva construtivista do conhecimento,* em que o conhecimento é pensado não só na sua vertente estática mas também dinâmica, não só como conteúdo mas também como processo. Como conteúdo, e na linha do que já expusemos, temos em conta o conhecimento espontâneo, diagnosticamo-lo, discutimo-lo, criticamo-lo. Não com o fito (injustificável) de levar o aluno à sua irradicação, mas com a finalidade de lhe permitir explicitá-lo e confrontá-lo com o conhecimento científico, para melhor ser capaz de tomar consciência da inadequabilidade de o aplicar a muitas das situações académicas que lhe são colocadas.

- Um apoio sistemático em *esquemas de organização do conhecimento.* Coerentemente, toda a estratégia experimental foi pensada no sentido de a cinemática e a dinâmica, em lugar de tratadas de forma estanque como é habitual, fossem abordadas de forma integrada, potenciando ligações, paralelismos e analogias.

- Uma forte *orientação qualitativa,* não com o objectivo de dar a entender aos alunos que a física tenha só a ver com conceitos, mas no sentido de minimizar neles a ideia de que a física tenha só a ver com fórmulas. Ao contrário da prática corrente, em que o aluno é levado a tomar as fórmulas como um fim em si mesmas e a decorar toda uma panóplia de fórmulas muitas vezes desconexas e, afinal, redundantes, nós pretendemos levar o aluno a memorizar (compreendendo) um leque restrito de equações matemáticas, privilegiando os casos gerais e habituando-o a deles extrair os casos particulares sempre que necessário.

- Finalmente, uma intensa *preocupação metacognitiva,* concretizada na explicitação e no treino de processos e estratégias de resolução de problemas, e encarada como elo de ligação (como o cimento aglutinador) dos suportes anteriores.

Caracterizamos depois os *instrumentos de medida,* sempre na perspectiva de que são necessariamente falíveis, não tendo, por isso, validade absoluta. Procuramos descrevê-los não só quanto ao conteúdo, às finalidades dos seus itens e às razões teóricas e metodológicas que os suportam, mas apresentando também alguns indicadores que podem dar uma ideia da fiabilidade e adequabilidade desses instrumentos, no quadro das situações em que foram aplicados e dos objectivos que os balizavam. Concluímos o capítulo, dando conta de alguns procedimentos e técnicas (entrevistas e análises de conteúdo de materiais escritos) que foram utilizados e que materializaram a *vertente qualitativa do estudo.*

• ***Capítulo 6.*** Dedicamos este capítulo ao tratamento dos dados recolhidos, à apresentação dos resultados derivados e ao estabelecimento de inferências concretas. Em face da grande quantidade de dados e resultados, experimentámos inicialmente algumas hesitações quanto à forma de estruturar e sequenciar a apresentação dos mesmos. Com a finalidade de melhor organizar essa apresentação, decidimos considerar, genericamente, *três campos de variáveis quantitativas,* assim designados:

1. **Campo nuclear da resolução de problemas**. Constitui o *cerne do trabalho,* o âmbito fundamental da pesquisa. Configuram-no toda a série de processos e estratégias directamente relacionados com a competência dos alunos na resolução de problemas de física, sejam eles quantitativos ou qualitativos, tendo ela a ver com processos cognitivos ou metacognitivos.

2. **Campo da experiência metacognitiva**. Não se trata já tanto de processos propriamente ditos; antes lhe correspondem estados, comportamentos ou posturas, numa palavra, indicadores de tipo atitudinal, que podem influenciar a forma como o aluno aborda, executa, controla e avalia a sua actividade cognitiva. Nesse sentido, e encarado desse modo, este campo como que faz a ponte para o campo que se segue.

3. **Campo afectivo**. Está, neste caso concreto, essencialmente associado a dois tipos de variáveis: atitude para com a resolução de problemas de física e atitude para com as Ciências Físico-Químicas (CFQ).

Adoptada essa categorização operacional, decidimos desenvolver este capítulo da seguinte forma:

- Numa primeira fase, procura-se caracterizar o *estado inicial* das turmas participantes, tanto no que diz respeito à descrição quantitativa da situação de partida, como no que tem a ver com a categorização das concepções (espontâneas, científicas ou mistas) mais relevantes então evidenciadas pelos alunos, principalmente as associadas à relação força-movimento.

- Passa-se a uma segunda fase, em que se tenta caracterizar as *transformações ocorridas* e, com isso, recolher matéria capaz de permitir ajuizar até que ponto as hipóteses de partida e outras entretanto formuladas foram ou não validadas. Incluem-se, ainda neste ponto, dados, resultados e conclusões relacionados com a eventual influência do pensamento lógico e dos estilos epistémicos nas transformações ocorridas.

- Finalmente, uma terceira fase em que se tenta avaliar até que ponto as transformações detectadas no tocante à resolução escrita tinham correspondência no plano oral, ou seja, na resolução directa, oralmente verbalizada, de um problema, na presença e sob o estímulo do investigador. As entrevistas ocorridas servem também para complementar alguns dos aspectos emergentes das análises anteriores, reforçar outros e levantar novas questões.

• **Conclusão**. Estabelece-se aqui o ponto da situação, no que diz respeito às conclusões mais importantes e mais pertinentes, confrontando-as com as hipóteses de partida e com a literatura. Discutem-se, por outro lado, as principais condicionantes impostas, ou seja, as condições de validade e fiabilidade dessas conclusões. Tenta-se, além disso, lançar pistas para tra-

balhos de investigação futuros, sempre na convicção de que os métodos de investigação e os resultados com eles obtidos estão necessariamente marcados pelas contingências dos contextos em que se concretizam, isto é, encontram-se em constante estado de fluxo. Derivam-se, por fim, importantes implicações para o campo educacional, em especial para o ensino, para a aprendizagem e para a resolução de problemas de física. O cunho didáctico que se procurou conferir a esta dissertação justifica mais uma vez, a nosso ver, a intensidade compreensiva e extensiva com que esse aspecto será tratado.

• **Bibliografia**. Ainda no corpo fundamental do relatório, inclui-se a bibliografia fundamental consultada. É caracterizada por alguma extensão, razoável exaustividade, mas também, estamos em crer, pela pertinência de muitas das fontes referenciadas. Constitui, pensamos, uma amostra suficientemente representativa do que de essencial se tem feito, sobretudo nas últimas décadas, em resolução de problemas.

• **Anexos**. Apresentamos ainda, agora em separata, uma colecção de anexos que, não sendo absolutamente indispensáveis à compreensão do corpo fundamental do relatório, constituem, ainda assim, valioso complemento informativo e esclarecedor. Compõem essa colecção: uma amostra significativa dos materiais de apoio mais importantes utilizados, todos eles criados ou adaptados pelo investigador, e que podem constituir um forte contributo para uma melhor compreensão da estratégia (Anexo 1); um conjunto de documentos (nomeadamente *fichas de resolução metacognitiva de problemas de física*) especificamente desenhados para apoio ao treino das competências de resolução de problemas (Anexo 2); uma amostra, igualmente significativa, de trabalhos recomen-

dados aos alunos para realização em casa (TPC) e que se vieram a revelar como um precioso complemento das actividades realizadas na sala de aula (Anexo 3); um exemplar de cada um dos *instrumentos de medida* a que se recorreu, complementado com alguns indicadores estatísticos susceptíveis de dar uma ideia da qualidade do instrumento em causa (Anexo 4); um exemplar de uma *entrevista* (com o respectivo guião), com o objectivo não só de ilustrar genericamente o formato de entrevista por que se optou e a forma como foi conduzida, mas também, ou sobretudo, com a intenção de mostrar as grandes potencialidades investigativas e também didácticas de entrevistas desse tipo (Anexo 5).

Uma Mensagem Preliminar

A terminar esta introdução, uma nota queremos deixar. Sendo a resolução de problemas o tema central desta tese e, nesse sentido, um fim em termos de trabalho de investigação, não quereríamos que daí se depreendesse que entendamos o seja em termos pedagógicos. Para esses propósitos, vêmo-la mais como um meio de levar o aluno a desenvolver a sua "liberdade criadora", para que, como o menino do Poeta, possa esse aluno partir sem medo "à descoberta de terras desconhecidas", desvendando, como "pessoa crescida", "o segredo", as perplexidades, as confusões ou as dúvidas, numa palavra, os problemas que o desconhecido implica:

> Já não tem medo de andar.
> Isso era dantes, o medo!
> Já desvendou o segredo
> que nos não deixa tombar
> e que é só perder o medo.

Pobres dos que não percebem
esta grande maravilha
de ter pernas que nos levem
de um canto ao outro da sala.
Já o menino se iguala
com as pessoas crescidas.
Pobre de quem não descobre,
em cada passada incerta,
que ele vai à descoberta
de terras desconhecidas.

— *Sebastião da Gama,* Campo Aberto.

E que nesse partir à descoberta de terras desconhecidas, possa o aluno ser capaz de "pensar segundo o seu modo"; e, pensando, o faça conscientemente, com "controlo sobre si", sobre o seu próprio pensamento, que o faça metacognitivamente:

> Cada ser humano deve pensar segundo o seu modo, pois ele encontra sempre no seu caminho uma verdade ou uma espécie de verdade que o sustenta no decurso da vida. Todavia, não deve abandonar-se mas, pelo contrário, tem de exercer controlo sobre si mesmo. O puro e simples instinto não convém ao homem.
>
> — *Goethe,* Máximas e Reflexões.

I
FUNDAMENTO TEÓRICO

ENQUADRAMENTO PSICOLÓGICO DA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS: CONCEITOS DE BASE E MECANISMOS FUNDAMENTAIS

1

1.1

RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS, PENSAMENTO E CONHECIMENTO: IDENTIFICAÇÃO DE SINERGIAS

Noção de Problema:
Pluralidade Conceptual e Algumas Idiossincrasias

A palavra "problema" é utilizada no dia-a-dia para designar uma ampla diversidade de situações ou tarefas; corresponde-lhe, por isso, um campo semântico difuso e multifacetado. Idênticos qualificativos podem ser também aplicados à literatura relacionada com a "resolução de problemas". Na verdade, nessa área da investigação educacional, o termo "problema" surge associado a significados múltiplos e diferenciados, quase sempre dependentes de quem os formula ou tenta operacionalizar (Valente, Neto e Valente, 1989).

Essas insuficiências na definição inequívoca do conceito, traduzidas nalguma falta de concordância sobre o que deve entender-se por problema, conduzem a significações por vezes estreitas, formuladas quer por investigadores quer por educadores, constituindo uma das limitações dos estudos dos primeiros e levando os segundos, com alguma frequência (dir-se-ia, com demasiada frequência), à utilização de exercícios "estéreis" com o rótulo de problemas (Garrett, 1986; Gil Pérez e Martinez Torregrosa, 1983a,1983b, 1987).

Adoptando uma posição congregadora de algum consenso (Costa, 1985a; Duncker, 1945, 1972; Garrett, 1987; Gil Pérez e Martinez Torregrosa, 1983a, 1983b; Hill, 1979; Mettes et al., 1980), assumiremos para já, sem prejuízo de virmos progressivamente a elaborar esta caracterização, que um problema é uma situação que impõe dificuldades para as quais não se conhece à partida solução nem se sabe sequer se ela existirá. Ou, tal como afirma Hayes (1987), surge um problema sempre que se verifica uma *descontinuidade* ou uma *lacuna* entre um estado cognitivo actual e um outro que se pretende alcançar e não se conhece, de início, um caminho para superar essa descontinuidade (Pizzini et al., 1989).

Pode, assim, dizer-se que a um problema corresponde um desequilíbrio entre o estado de conhecimentos e competências exigidos pela resolução da situação ou tarefa em causa e o estado corrente de conhecimentos e competências do indivíduo. Festinger (citado por Pizzini et al., 1989) apelida esse desequilíbrio ou conflito de *dissonância cognitiva* ; esta, na sua opinião, é fundamental para activar os mecanismos motivacionais que levam esse indivíduo a pelo menos tentar resolver o problema.

É essa motivação para resolver o problema, seja ela intrínseca ou extrínseca, que mantém o indivíduo na via para a solução, isto é, que o leva a encetar e manter esforços deliberados e conscientes para atingir essa solução. Kahney (1986) acentua essa perspectiva quando, de algum modo inspirado em Mayer (1986), faz corresponder a um *problema* os seguintes elementos fundamentais: os *dados iniciais,* os *obstáculos* (dificuldades) a vencer, os *objectivos* a atingir e os *esforços* a realizar.

Essa definição abrangente de problema, não confinada a uma estrita acepção cognitiva, está bem patente na definição de Schoenfeld (1989), formu-

lada para o caso da resolução de problemas de matemática, mas aplicável, com toda a legitimidade, a um universo mais vasto:

> For any student, a mathematical *problem* is a task a) in which the student is interested and engaged and for which he wishes to obtain a resolution, and b) for which the student does not have a readily accessible mathematical means by which to achieve that resolution. (p. 88)

Desta definição podem ser retiradas duas implicações importantes:

1. São factores decisivos na resolução de problemas o envolvimento e o empenhamento deliberados do sujeito nessa actividade. Dito de outra forma: uma tarefa não constitui um problema para uma pessoa antes que essa pessoa tenha decidido fazer dela um *seu* problema.

2. Uma situação potencialmente problemática não constitui um problema em si mesma. A existência de dificuldades não é uma característica inerente à situação externa objectiva. Depende também dos conhecimentos e experiências prévios e de outros factores relacionados com o resolvente e ainda da interacção deste com essa situação (Garrett, 1987).

Problemas e Exercícios: Relatividade de Categorização.

A implicação anterior possibilita uma base para distinguir dois conceitos distintos, tantas vezes indiferenciados: o de *exercício* e o de *problema*. Bodner (1986, 1987), por exemplo, considera que o estatuto de uma questão como problema ou exercício "não é uma característica intrínseca" a essa questão; é "uma interacção subtil" entre a questão considerada em si mesma e o indivíduo que a tenta resolver.

Para R. Gagné (1985), a resolução de problemas é uma forma de aprendizagem que envolve a combinação de *regras* ou procedimentos previamente aprendidos, da qual resulta uma nova regra de ordem superior que permite a resolução do problema em causa e que, se for convenientemente memorizada, irá possibilitar futuramente, àquele sujeito, a resolução de situações problemáticas semelhantes. Mas essas situações semelhantes, por poderem ser resolvidas pela simples aplicação dessa regra antes aprendida (desse esquema-tipo), já não se podem considerar verdadeiros problemas mas simples exercícios.

Problema e exercício são assim conceitos relativos e pessoais e não entidades de significação absoluta e geral. A noção de *limiar de problema,* utilizada por Elshout (citado por Gil Pérez et al., s.d.), é bem ilustrativa dessa posição. Corresponde à fronteira, variável de indivíduo para indivíduo, para além da qual faz sentido afirmar que uma dada situação constitui efectivamente um problema real para o indivíduo que a enfrenta e não um mero exercício.

A distinção que Garrett (1988) postula entre *enigma* ("puzzle") e *problema propriamente dito,* com base no critério de a situação ser ou não resolúvel no quadro de um dado paradigma pessoal, tem também subjacente aquela relatividade conceptual. Essa diferenciação entre enigma e problema é configurada num paralelismo estreito que o autor estabelece entre a resolução de problemas e a actividade de investigação científica, conjugado com a perspectiva kuhniana[9] quanto à forma como essa actividade se desenvolve e progride historicamente.

---

[9] Como é sabido, Kuhn (1970), na sua obra mais conhecida, *A Estrutura das Revoluções Científicas*, sugere que toda a actividade científica, em períodos de *ciência*

(continua na página seguinte)

Garrett pronuncia-se a favor da existência de um *continuum* entre *enigmas puros* ou exercícios (situações em que toda a informação necessária é conhecida) e *problemas puros* (situações em que existe um desconhecimento total). Considera as primeiras sem grande interesse didáctico, na medida em que pouco ou nada contribuem para a ampliação do conhecimento dos alunos e para o seu desenvolvimento intelectual. São notórias, aliás, as afinidades da proposta de Garrett com a importante e já mencionada noção vygotskiana de *zona do desenvolvimento próximo ou potencial* (Vygotsky 1978, 1979, 1986a, 1986b).

A linha de separação (Fig. 2) entre enigmas e problemas é pessoal, dependente da solidez e consistência do paradigma próprio daquele que enfrenta a situação e a tenta resolver, dependente, por isso, dos seus interesses, conhecimentos e experiências prévios.

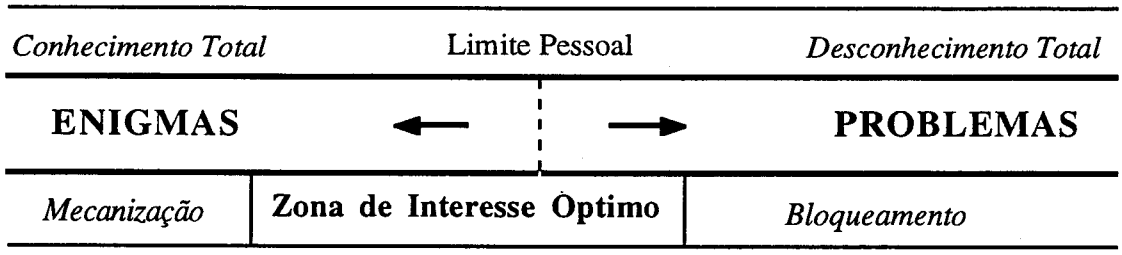


Fig. 2 — *Enigmas* versus *Problemas: Implicações Pedagógicas*

normal, é um empreendimento que visa, fundamentalmente, a resolução de questõesenquadráveis no paradigma vigente, questões essas que ele designa, precisamente, de puzzles. Verdadeiros problemas, são, para Kuhn, aquelas situações que emergem em períodos de *crise,* períodos de *revolução científica,* em que não existe um paradigma consolidado, sociológica e psicologicamente aceite.

Nesse *continuum,* podem, conforme a figura ilustra, identificar-se *três zonas* diferenciadas:

1. Uma primeira, designada por Garrett de *zona de interesse óptimo,* que corresponde a tarefas que, para um determinado indivíduo, apresentam um grau de dificuldade intermédio: nem demasiado difíceis para poderem provocar bloqueamentos afectivos (motivacionais) e cognitivos e consequente incapacidade resolutiva; nem demasiado fáceis para se limitarem a reproduzir esquemas já antes aprendidos.

2. Uma segunda (lado direito da figura) que inclui tarefas que, para esse indivíduo, apresentam um grau de dificuldade excessivo.

3. Uma terceira (lado esquerdo da figura) que tem a ver com tarefas que, para o mesmo indivíduo, se revelam demasiado fáceis.

Nessa perspectiva, a maior parte dos "problemas" habitualmente apresentados aos alunos não são verdadeiros problemas mas puros exercícios de treino; na grande generalidade dos casos, podem ser resolvidos mediante o simples recordar de regras e procedimentos antes exemplificados pelos professores ou pelos manuais e memorizados pelos alunos. Ao contrário, os problemas autênticos confrontam o indivíduo com uma dificuldade que não implica apenas pensamento meramente reprodutivo mas autêntico pensamento produtivo — no sentido que lhe dá Wertheimer (1968) —, capaz de gerar novas soluções.

Tipos de Problemas: Diversidade de Critérios.

Para além da variedade de significados, existe variedade idêntica quanto às tipologias referenciadas na literatura e respeitantes a diferentes *categorias* de problemas. Holt (citado por Garrett, 1988), por exemplo, diferencia entre *problemas fechados* e *problemas abertos.* Os primeiros representam situações problemáticas de resposta única, para a qual o resolvente sabe que existe necessariamente um caminho, embora o desconheça de antemão; quanto aos segundos, são situações com várias respostas admissíveis, sem que se possa afirmar que alguma delas seja a mais correcta mas apenas a mais adequada a determinadas circunstâncias.

No que diz respeito à investigação, alguns autores — sobretudo os que se reclamam adeptos de teorias que têm por base o modelo (ou modelos) do processamento de informação — referem-se a dois tipos de problemas diferentes: *problemas bem definidos* e *problemas mal definidos* (Hayes, 1987; Richard, 1984). Num problema bem definido (ou bem estruturado) o resolvente tem à sua disposição (ou tem fácil acesso) a toda a informação de que vem a necessitar. Trata-se de problemas associados geralmente a procedimentos algorítmicos que, de algum modo, os alunos já conhecem e que, se correctamente processados, produzem, seguramente, a resposta pretendida[10].

Ao contrário, um problema mal definido (ou mal estruturado) é aquele em que pouca ou nenhuma informação é proporcionada ao resolvente. São

[10] Constituem exemplos bem conhecidos os célebres problemas da *Torre de Hanói,* dos *Missionários e Canibais* e outros apresentados em fontes como Hayes (1987), Kahney (1986), Mayer (1986), Newell e Simon (1972), Rubinstein (1975) ou Wickelgren (1974).

problemas em que a tarefa a realizar apenas se encontra vagamente definida. São problemas em que, em síntese, é o resolvente que tem, ele próprio, de os definir e caracterizar (Hayes, 1987).

Os problemas bem definidos, que começaram por ser os mais utilizados na investigação em resolução de problemas, tinham a vantagem de não necessitarem de informação prévia significativa para poderem ser resolvidos. Todavia, na vida real as coisas não se passam tanto assim. Os *problemas da vida real* são mais complexos; tendem, em geral, a ser difusos e multifacetados. São problemas abertos para os quais não existe um método único, capaz de, só por si, garantir a resposta correcta (Fisher, 1990); existe, sim, uma diversidade de abordagens entre as quais se escolhe a que melhor parece ajustar-se e não aquela que exactamente se ajusta. A solução não termina necessariamente o processo; cada solução abre caminho para novos problemas.

Os problemas da vida real são, em certa medida, o contrário dos *problemas académicos* típicos. Estes são, em geral, problemas fechados que põem a tónica numa resposta única e exacta. Tendem, por isso, a ser artificiais, sem relação íntima com a experiência quotidiana e com aqueles aspectos da vida que os alunos mais valorizam. Podem ser úteis para testar alguns conhecimentos e rotinas que o aluno tenha memorizado, mas nunca para desenvolver significativamente o seu pensamento crítico e criativo e a sua metacognição.

Face a essas limitações dos problemas bem definidos e, por extensão, dos correlativos problemas académicos habitualmente utilizados, tentou-se, a dada altura, encaminhar a investigação em resolução de problemas para domínios de estrutura e complexidade mais próximas do real. Bhaskar e H.

Simon (1977), por exemplo, procuraram estender a investigação aos chamados *domínios semanticamente ricos,* ou seja, a áreas do conhecimento em que é necessário acumular quantidades substanciais de informação estruturada, antes de se conseguir resolver os problemas típicos dessas áreas. Privilegiou-se, sobretudo, aqueles que Larkin (1981a, 1981b) designou de *domínios formais.* Trata-se de campos como a matemática, a física ou a informática e, de modo geral, todos aqueles que envolvem grandes quantidades de conhecimento semântico rico e são, ao mesmo tempo, caracterizados por um conjunto restrito de princípios básicos, logicamente suficientes para resolver problemas nesses campos.

Os estudos sobre resolução de problemas em domínios de semântica mais rica tiveram o seu início no final dos anos setenta e continuaram até aos nossos dias. Fundaram-se, muitos deles, na análise das diferenças perante a resolução de problemas entre o comportamento de *especialistas* e de *iniciados* (*experts/novices*) — e, posteriormente, de "bons alunos" e "alunos fracos" (Finegold e Mass, 1985). A importância desses estudos, traduzida, nomeadamente, no impulso decisivo que imprimiram à investigação em resolução de problemas, é matéria que trataremos mais à frente.

Resolução de Problemas: um Campo em Mudança

Pensamento, Conhecimento e Resolução de Problemas: Relações Epistemológicas

À expressão "resolução de problemas" correspondem na literatura significados os mais diversos (Gagné, E., 1985; Valente, Neto e Valente, 1989). Para além do mais, essa diversidade é, afinal, o reflexo da falta de consenso quanto ao que deve entender-se por "problema" e quanto à natureza do processo e dos mecanismos conducentes à sua resolução.

Chiappetta e Russel (1982), por exemplo, inventariaram uma série de termos e expressões que, nessa vasta e dispersa literatura, aparecem muitas vezes como sinónimos de "resolução de problemas". Exemplificam com: *pensamento analítico, pensamento crítico, pensamento reflexivo, método científico, processo de inquérito,* etc. Champagne e Klopfer (1977), por outro lado, num interessante estudo que incidiu sobre setenta anos de publicação da revista *Science Education,* puderam concluir que a esmagadora maioria dos artigos sobre o tema da resolução de problemas publicados nesse período podiam ser incluídos em três grandes categorias:

1. Artigos que encaram a resolução de problemas como um *objectivo* ou um *produto de aprendizagem* (ex., Aylesworth, 1965 ou Butts, 1965).

2. Artigos que a vêem mais como uma *estratégia* ou um *método de ensino* (ex., Mahan, 1957) ou de *aprendizagem* [11] (ex., R. Gagné, 1985).

3. E, finalmente, artigos que a tratam como um fenómeno psicológico, essencialmente cognitivo. Nesta acepção, merecem destaque as conceptualizações que encaram a resolução de problemas como uma *competência cognitiva de nível elevado* e de âmbito geral, que Rowe (citado por Marzano et al., 1988) considera um pré-requisito para a sobrevivência do homem. Nickerson, Perkins e Smith, (1985) adoptam essa posição, quando afirmam que a expressão "resolução de problemas", com o sentido que lhe é atribuído na literatura psicológica, se refere aos processos de pensamento e comportamento, utilizados com a finalidade de realizar uma actividade intelectual conceptualmente exigente. Nesse sentido a concebe também Mayer (1986), ao utilizar indistintamente os termos "resolução de problemas", "pensamento" e "cognição", na base de uma "definição única, geral e comum aos três" (p. 20). É essa ligação íntima da resolução de problemas ao pensamento e à cognição, isto é, ao conhecimento, que passaremos de seguida a analisar.

Pensamento e conhecimento são entidades interdependentes e, de certa maneira, indissociáveis. Como alguém dizia, a "capacidade de pensar e o

[11] Como método de aprendizagem, a resolução de problemas surge quase sempre associada a abordagens assentes na chamada *aprendizagem por descoberta,* movimento lançado por Bruner nos Estados Unidos e que atingiu o seu auge nos anos 60, mas que mantém ainda numerosos adeptos e, convém dizê-lo, importantes detractores (Ausubel, Novak, Driver, entre os mais aguerridos).

conhecimento são a urdidura e a trama da competência intelectual". Quer dizer, o conhecimento é a matéria prima do pensamento que, por sua vez, é o gerador (o construtor) do conhecimento.

Dada essa relação profunda entre ambos, pouco surpreende que acabem, muitas vezes, por ser totalmente identificados um com outro, não se julgando necessário discerni-los. Kant (1989), no entanto, na *Crítica da Razão Pura*, reforça repetidamente (pp. 25, 145 e 169, por exemplo) a necessidade de se encarar pensamento e conhecimento como capacidades diferenciadas. Identifica o pensamento com a "faculdade de julgar" do espírito humano, ou seja, com o *entendimento,* definindo este, aliás, como a "capacidade de pensar". Distingue claramente pensamento de intuição sensível, afirmando que o "entendimento [pensamento] nada pode intuir e os sentidos [sensibilidade] nada podem pensar" (p. 89).

Só da reunião de ambos (sensibilidade e entendimento) se obtém conhecimento. E aqui reside a grande diferença entre conhecimento e pensamento. Um, o pensamento, provém, fundamentalmente, de uma fonte única do espírito, o entendimento; é, nesse sentido, essencialmente forma, processo ou estrutura. O outro, o conhecimento, exige, enquanto tal, a combinação de duas importantes fontes: os dados da intuição e os conceitos do entendimento. Tem forma, ou seja, tem associada a si uma faculdade não sensível que é o entendimento, mas tem também conteúdo (ou matéria) que lhe é conferido pela sensibilidade. Em suma:

> Pensar um objecto e conhecer um objecto não é (...) uma e a mesma coisa. Para o conhecimento são necessários dois elementos fundamentais: primeiro o conceito, mediante o qual é pensado em geral o objecto (...) em segundo lugar a intuição, pela qual é dado; porque se ao conceito não pudesse ser dada uma intuição correspondente, seria um pensamento, quanto à forma, mas sem qualquer objecto e, por seu intermédio, não seria possível o conhecimento de qualquer coisa; pois

> (...) nada haveria nem poderia haver a que [se] pudesse aplicar o (...) pensamento. (Kant, 1989, p. 145)

Não havendo a que aplicar o pensamento, este, ainda que possível, seria "vazio". Para Papert (citado por Marzano et al., 1988), pensar, em termos práticos, significa sempre pensar acerca de algo; até o "pensar sobre o pensar" (a metacognição) exige "pensar sobre o pensar sobre o pensar".

Mas, apesar de a filosofia kantiana ter constituído um ponto de viragem fundamental na clarificação dos conceitos de pensamento e conhecimento e do modo como, relacionando-se, se diferenciam ontologicamente, autores existem que adoptam para as suas conceptualizações outros paradigmas ou variantes do paradigma kantiano. Daí resulta algum desacordo, quer no que diz respeito a uma definição de pensamento, quer no que tem a ver com os mecanismos que subjazem ao acto de pensar. Para Mayer (1986), qualquer caracterização geral do pensamento deve, todavia, incluir, pelo menos, três pressupostos básicos:

1. O pensamento é *cognitivo* ; ocorre internamente na mente do sujeito e só pode ser inferido indirectamente — ideia fundamental em Kant, consubstanciada no que o grande filósofo considerou a sua "revolução coperniciana".

2. O pensamento é um *processo* que implica alguma manipulação sobre o aspecto material do conhecimento (o seu conteúdo).

3. O pensamento é *dirigido* (orientado para a consecução de um objectivo) e tem como resultado a resolução ou a tentativa de resolução de problemas[12].

Lembremo-nos que nem todos os autores perfilham essa opinião. Garrett (1987), por exemplo, considera que a resolução de problemas pode, na verdade, ser encarada como um elemento do pensamento, mas talvez seja mais apropriado concebê-la como uma actividade complexa de aprendizagem que envolve pensamento — R. Gagné (1985), adopta posição similar.

Embora o pensamento deva ser encarado como uma estrutura funcionalmente integrada, muitos autores postulam a existência de "espécies" de pensamento diferentes, seja por necessidades de análise, seja por pretenderem chamar a atenção explícita para facetas do pensamento muitas vezes ignoradas ou menos valorizadas. Tendem, em geral, a sugerir classificações dicotomizadas que configuram dois tipos de pensamento: um a que se associam rótulos como *analítico, dedutivo, rigoroso, constrangido, convergente, lógico, formal,* ou *crítico* ; outro a que se associam rótulos como *sintético, indutivo, expansivo, não condicionado, divergente, informal, difuso,* ou *criativo.*

Concretizando, é possível encontrar referências a dicotomias famosas como as da Gestalt, com *pensamento reprodutivo-pensamento produtivo,* a de Bartlett com *pensamento fechado-pensamento aventureiro,* a de Bruner com *pensamento esquerdo-pensamento direito,* a de Guilford com *pensa-*

[12] Compreende-se, assim, que Mayer (tal como, por exemplo, J. Anderson, 1982, 1985) seja levado a estabelecer uma identificação quase total entre "pensar" e "resolver problemas".

mento convergente-pensamento divergente, ou a de *de* Bono com *pensamento vertical-pensamento lateral* (Nickerson, Perkins e Smith, 1985).

No que toca a esta última, o pensamento vertical é, para *de* Bono (1968a, 1968b, 1987), pensamento convergente ou pensamento lógico; é sequenciado, previsível e convencional. O pensamento lateral, ao contrário, é pensamento de tipo divergente (criativo), não necessariamente lógico e sequenciado; é, muitas vezes, imprevisível e não condicionado por normas ou convenções.

Resolução de Problemas como Competência Cognitiva

Bartlett foi um porta-voz activo e empenhado da ideia de que o pensamento pode (e deve) ser encarado como uma competência cognitiva complexa de nível elevado. Estabeleceu vários paralelismos entre o pensamento e as competências motoras; argumentava que a identificação de semelhanças e afinidades entre a actividade mental e a actividade física envolve algo mais do que simples metáfora. Ambas as actividades implicam elementos comuns que têm a ver com o autocontrolo, a detecção e correcção de erros e a organização (Wood, 1988).

A teoria de Bartlett não alcançou, todavia, grande sucesso explicativo e preditivo. Em certo sentido, porém, as modernas psicologias cognitivas trabalham por forma a esclarecer e validar algumas das suas ideias mais importantes, com especial destaque para a tese que considera o pensamento uma competência intelectual passível de ser treinada.

Johnson-Laird (1983) adopta essa posição e aplica-a ao caso do *pensamento lógico* ou, como diria Bartlett, do "pensamento fechado". De Bono

(1968) partilha opinião idêntica: concebe o pensamento como uma competência, podendo e devendo, enquanto tal, ser treinada. Considera mesmo que os esforços a encetar devem visar em especial o pensamento lateral[13] (criativo), aquele que a escola mais descura ou praticamente ignora.

Como competência cognitiva de nível elevado, o pensamento comporta, na opinião de muitos autores, outras competências cognitivas de nível inferior, cooperando estas entre si numa interacção sistémica (integrada). Beyer (1984a, 1984b), por exemplo, concebe a existência de *processos de pensamento amplos e abrangentes* (onde inclui a resolução de problemas), *operações mais simples e mais específicas* (por exemplo, análise, síntese, memorização) e *combinações de ambos* (como o pensamento crítico, por exemplo). Costa (1985b), por sua vez, baseado nas propostas de diversos autores, por si compiladas na colectânea *Developing Minds,* considera que qualquer bom programa destinado a promover o desenvolvimento das competências de pensamento, deveria contemplar as quatro seguintes categorias:

- ***Competências básicas de pensamento***. São processos relacionados com a entrada e processamento de dados e com os produtos desse processamento (inferir, formular hipóteses, prever e avaliar, por exemplo).

---

[13] Concebeu mesmo, para o efeito, um programa designado de CoRT — iniciais da organização britânica *Cognitive Research Trust,* fundada e orientada pelo próprio *de* Bono —, programa esse já aplicado com sucesso em países como a Venezuela (associado ao projecto *Aprender a Pensar*), Austrália ou Inglaterra (Nickerson, Perkins e Smith, 1985).

- ***Estratégias de pensamento***. É uma categoria correspondente a processos mais gerais que intervêm na resolução de problemas, no pensamento crítico e no "raciocínio estratégico".

- ***Pensamento criativo***. É uma competência utilizada para gerar novos esquemas e novos produtos de pensamento e que engloba a criatividade, a fluência de ideias, o pensamento metafórico e a intuição.

- ***"O espírito cognitivo"***. Depois de identificar e definir todas as competências anteriores, ficaria, de acordo com Costa, ainda a faltar algo. O indivíduo que pensa tem de ter vontade, disposição, inclinação e comprometimento com o pensar. É o campo das atitudes, das tendências e da motivação. Trata-se de um conjunto de competências não puramente cognitivas, mas de competências de interface entre a dimensão cognitiva propriamente dita e a dimensão afectiva que a influencia e condiciona.

Estas e outras classificações (ver outros exemplos na colectânea *Developing Minds,* Costa, 1985a) servem para reforçar a tese dos que (a nosso ver com pertinência) relevam do conceito de resolução de problemas o seu significado (um dos vários) de competência intelectual de nível elevado e de âmbito geral, chegando, mesmo, a identificá-la com o próprio pensamento. Não pretendem, ou pelo menos não é assim que a encaramos, dar a entender que o pensamento seja uma entidade desconexa, compartimentada e fragmentada.

Do que fica exposto, parece consensual a ideia de que a resolução de problemas (como processo complexo de pensamento) possui características funcionais inter-relacionadas e integradas, qualidades que lhe conferem

unidade fenomenológica e ontológica. Greeno (1980), numa extensiva análise de literatura, chegou, porém, à conclusão de que ainda não existe um conjunto homogéneo e integrado de processos mentais, capaz de conferir à resolução de problemas aquela unidade. Sendo isso verdade, é também indesmentível que se dispõe já de um corpo de conhecimentos extenso sobre resolução de problemas, a que corresponde um relativamente longo e rico historial. Desse historial, particularmente no que diz respeito às relações da resolução de problemas com o pensamento, apresentamos uma síntese sumária no ponto que se segue.

Breve historial da investigação em resolução de problemas como competência cognitiva

As raízes da investigação na resolução de problemas (no início intimamente associada à investigação do pensamento) entroncam na *tradição gestáltica* ou na *escola associacionista.* Estas duas correntes, apesar de fortemente diferenciadas, convergem no modo como destacam a complexidade dos processos envolvidos e a diversidade de tarefas e actividades cognitivas agrupadas sob a designação de "resolução de problemas". Para melhor clarificar a forma como cada uma delas terá influenciado os estudos em resolução de problemas, convém esboçar agora uma retrospectiva sumária dos seus antecedentes históricos e da sua evolução (Vygotsky, 1979; Leahey, 1982).

Dos alvores da psicologia da mente ao domínio condutivista. Antes que, nos finais do século XIX, a psicologia se tivesse estabelecido como ciência experimental, alguns temas de psicologia estavam já bem consolidados

dentro do campo da filosofia — em Kant (1989) ou Espinosa (1987), por exemplo). A filosofia dos processos mentais inicialmente dominante era o *associacionismo,* fundado na convicção de que a vida mental poderia ser explicada em termos de duas componentes básicas: *ideias* (ou elementos) e *associações de ideias* (ou laços entre elementos).

Dessa filosofia, foi especialmente influente o associacionismo inglês de Hobbes e Locke (sécs. XVII e XVIII). Para esta corrente, à vida mental correspondiam três características principais:

1. ***Atomismo***. Todo o fenómeno mental pode ser analisado em termos de ideias elementares ("átomos psicológicos") e das suas associações.

2. ***Mecanização***. O pensamento, ou seja, o movimento de uma ideia para outra é um processo automático e está baseado, essencialmente, na solidez das associações.

3. ***Empirismo.*** Todo o conhecimento, quer dizer, todas as ideias e associações provêm da experiência sensorial. A mente é, ao princípio, como uma *tabula rasa,* na qual se imprime a reprodução do mundo, exactamente como ele é recebido pelos sentidos:

> Plus d'idées innées, plus de principles a priori; il y n' y a dans l' entendement d' autres éléments que ceux qu'apporte la sensation. (Locke, citado por Giordan e Vechi, 1987, p. 44)

Ao contrário do associacionismo, para Kant e outros racionalistas, categorias da sensibilidade como as de tempo e espaço e conceitos do entendimento como os de quantidade, qualidade e relação têm origem *a priori,* independentemente da experiência, e não são decomponíveis em elementos mais simples. Facilmente se compreende que entre as duas tradições — as-

sociacionista-empirista, por um lado, e racionalista, por outro — se tenha travado *polémica acesa,* a qual, com avanços e recuos, se tem estendido até aos nossos dias. Apesar dela, uma convicção comum unia essas duas posições rivais: o pressuposto, herdado da teoria de Descartes, de que apenas se podia estudar cientificamente o homem no que diz respeito ao seu corpo físico: à filosofia competia estudar a mente.

Nos finais do século XIX, a situação começaria, contudo, a sofrer algumas alterações. Nesses tempos, aplicava-se cada vez mais o método experimental ao estudo do mundo físico: planetas e espaço (astronomia), objectos móveis (física), água e fogo (química), plantas e animais (biologia), corpo humano (fisiologia e medicina). Uma das últimas áreas a introduzir esse estudo foi a que William Wundt designou de "novo domínio da ciência": a mente e os comportamentos humanos — isto é, a *psicologia.*

Wundt, frequentemente considerado o "pai da psicologia", funda na Universidade de Leipzig, em 1879, um *laboratório de psicologia,* marcando, com isso, o começo dessa disciplina como ciência experimental. Dividiu os processos psicológicos em duas grandes classes: *processos psicológicos simples* (como reflexos, sensações e percepções), estudáveis por métodos experimentais directos; *processos psicológicos superiores,* acerca dos quais nada se podia descobrir por via experimental.

Esse tipo de categorização e a terminologia introduzida haveriam de marcar a linguagem psicológica ao longo das décadas subsequentes[14]. A psicologia experimental consolida-se, assim, sob o signo da mente, ou seja, com

[14] Encontra-se, por exemplo, de forma directa em Vygotsky (1978, 1979, 1986a, 1986b) e, com algumas variantes, em autores que tratam a temática das competências de pensamento (*thinking skills*).

cunho cognitivista; muitos dos psicólogos desse período eram psicólogos de orientação cognitiva, no sentido em que o seu móbil preferencial era a compreensão dos mecanismos da mente. Careciam, porém, de instrumentos metodológicos apropriados, uma vez que os processos psicológicos superiores escapavam aos seus estudos laboratoriais.

Não admira, por isso, que o século XIX tenha terminado sem que se tivesse publicado qualquer trabalho relevante no campo da psicologia do pensamento humano. No entanto, no princípio do século, um grupo de psicólogos alemães da cidade de Wurzburgo propõe-se superar a ideia de Wundt relativa à impossibilidade de estudar em laboratório os processos psicológicos superiores. Na falta de técnicas adequadas, desenvolve o conhecido *método de introspecção* ou auto-observação. O pensamento e, com ele, outros processos e fenómenos mentais complexos passam, desse modo, a ser alvo de investigação sistemática e empírica.

Apesar de o trabalho e de a metodologia utilizada pelo grupo cedo terem começado a ser criticados — o método da introspecção foi, inclusivamente, rejeitado por diversas correntes, acusado de assentar mais na experiência subjectiva do que em dados observáveis —, cabe ao grupo, quanto mais não seja, o mérito de ter demonstrado que, ao contrário do que antes se admitia, o pensamento humano era passível de estudo empírico e não simplesmente de estudo teórico e especulativo.

Os seus trabalhos levaram a colocar dúvidas sobre os fundamentos filosóficos do associacionismo, nomeadamente por terem evidenciado:

1. ***Antiatomismo***. Os elementos do pensamento mudam à medida que se combinam.

2. ***Antimecanização***. Ficou provado que o pensamento é orientado ou conduzido por algum motivo ou objectivo.

3. ***Antiempirismo***. Obteve-se evidência de que a experiência sensível não é reproduzida nem copiada na mente exactamente como ocorreu.

Trabalhando nesse sentido, Selz (citado por Mayer, 1986) formula a *primeira teoria não associacionista do pensamento.* Desenvolve, além disso, a tese (hoje consensualmente aceite) de que o pensamento implica a formação de sistemas complexos organizados. Prepara, desse modo, o terreno para a emergência das teses gestaltistas.

A escola da *Gestalt* tenta, com efeito, fazer avançar a teoria de Selz. O nazismo pôs fim a esses intentos na Alemanha; muitos dos gestaltistas viram-se obrigados a refugiar-se nos Estados Unidos, onde prosseguiram o seu trabalho. A psicologia da Gestalt opunha-se ao único aspecto em que Wundt e, posteriormente, os condutivistas coincidiam, a saber, a conveniência em analisar os processos psicológicos em constituintes mais simples (sensações para Wundt; associações estímulo-resposta para os condutivistas).

Os gestaltistas conseguiram, na verdade, demonstrar que muitos fenómenos intelectuais — os estudos de Kohler com chimpanzés eram disso um exemplo — e perceptivos — por exemplo, os estudos de Wertheimer acerca do movimento aparente das luzes intermitentes — não podiam ser explicados nem em termos de elementos básicos da consciência (como postulava Wundt), nem em termos de estímulo-resposta (como postulavam os condutivistas). Além disso, enriqueceram o estudo do pensamento, ao

introduzirem ideias que viriam a marcar significativamente as teorizações subsequentes.

Cabe, a esse respeito, destacar a distinção, estabelecida por Wertheimer (1968), entre *pensamento produtivo* e *pensamento reprodutivo,* a ideia de que o pensamento se produz por *etapas* ou *fases* e a noção de *rigidez funcional* (Duncker, 1945, 1972), de largas aplicações e implicações para a resolução de problemas. No tocante, precisamente, à resolução de problemas, a principal tese dos gestaltistas era a de que essa actividade cognitiva implica a reorganização ou reestruturação da situação problemática inicial.

A teoria da Gestalt constituiu, por isso, uma das primeiras tentativas sistemáticas e consistentes de compreender a resolução de problemas. Não obteve grandes sucessos, é certo, sobretudo por não dispor de ferramentas conceptuais e metodológicas adequadas e convincentes. Legou, todavia, conceitos importantes como os de *representação* e *organização do conhecimento,* ou técnicas como a dos *protocolos verbais.* Com compreensíveis e necessárias adaptações, a actual psicologia cognitiva vem recuperar muitas dessas ferramentas, dando, com isso, novo ânimo à investigação em resolução de problemas (E. Gagné, 1985).

Mas, apesar de os gestaltistas se preocuparem com os processos intelectuais de nível superior, a sua teoria é por muitos considerada mais vaga e, por essa razão, mais difícil de ser comprovada cientificamente do que a sua rival condutivista. Por esse motivo, e também por circunstâncias históricas já enunciadas, o gestaltismo cedo haveria de desaparecer como movimento autónomo. O condutivismo, em contrapartida, iria prevalecer e dominar durante algumas décadas (sobretudo nos Estados Unidos), mantendo-se como paradigma vigente até que, paulatinamente, começaria a ceder ter-

reno para o actual *cognitivismo* — ou, se se preferir, para os actuais "cognitivismos". Estes, como diz Mayer (1986), constituem, de algum modo, um renascer renovado das teses gestaltistas.

Servindo de ponto da situação relativamente ao historial que estamos a desenvolver, atente-se na síntese que a seguir se insere de acontecimentos mais relevantes por nós referenciados (Mayer, 1986):

Síntese histórica da psicologia do pensamento

400 aC.	Doutrina aristotélica da associação por contiguidade, semelhança e contraste.
1700 dC.	Reformulação do associacionismo austríaco pelos associacionistas ingleses.
1800	Em 1879, Wundt abre o primeiro laboratório de psicologia, embora não tenha estudado o pensamento — era para ele um processo mental superior e, por isso, não estudável.
1900	O grupo de Wurzburgo leva o pensamento ao laboratório e descobre o pensamento sem imagens.
1910	Em 1913, Selz propõe a primeira teoria não associacionista do pensamento.
1920	Surge na a Alemanha a psicologia da Gestalt.
1930	O condutivismo sufoca a investigação americana sobre o pensamento; o nazismo paralisa a psicologia da Gestalt na Alemanha e alguns gestaltistas refugiam-se nos Estados Unidos.
1940 e seg.	Renasce o interesse pela psicologia cognitiva e com ela pelo pensamento e outros fenómenos mentais como a resolução de problemas.

As décadas que se seguem à década de 40, especialmente o período muitas vezes designado de *revolução cognitiva do final dos anos 50,* iriam, de

facto, trazer aquilo que Bruner (1978) designa de "retorno à mente". É essa ideia de retorno à mente, ou seja, de renascimento da psicologia cognitiva, que irá marcar o segundo grande período do historial que temos vindo a construir sobre as relações da resolução de problemas com o pensamento e, por extensão, com o conhecimento.

Do renascer da psicologia da mente às mudanças contemporâneas. Naquele final dos anos 50, a investigação em resolução de problemas estava muito centrada na forma como os indivíduos resolviam enigmas ("puzzles") e jogos (como o de xadrez). Eram tempos favoráveis à utilização de problemas bem-definidos, quase sem conteúdo, uma vez que se assistia à primazia dos processos gerais sobre os conteúdos específicos.

No contexto educativo, o estudo da resolução de problemas encontrava-se intimamente associado ao *movimento da aprendizagem por descoberta,* de certo modo lançado já como reacção ao vazio criado pelas correntes behavioristas. Essa primazia dos processos sobre os conteúdos de pensamento, que encontramos, em certo sentido, entre os autores que seguem de perto as teses piagetianas, viria mais tarde a ser energicamente combatida por autores como Ausubel, Novak e, de modo geral, por todos aqueles que colocam a tónica na necessidade da mudança conceptual como grande finalidade para o ensino das ciências — ou seja, nos conteúdos específicos e na lógica das disciplinas.

Nos anos 70, foi desenvolvida a *técnica do "pensar em voz alta"* que, como o nome indica, consiste, genericamente, em pedir à pessoa que está a resolver um problema que "pense em voz alta", efectuando-se, simultaneamente, o registo (quase sempre audiogravado) das suas verbalizações

(Newell e Simon, 1972). Ela constitui afinal uma variante da metodologia dos protocolos verbais utilizada pelos gestaltistas.

O desenvolvimento dessa técnica torna possível a implementação de novas metodologias de investigação, muito no rasto das perspectivas pioneiras do grupo de Wurzburgo. Destacam-se, a esse respeito, os já mencionados estudos descritivos *especialistas/iniciados.* Esses estudos acabaram por se afirmar como um motor importante no renascer da dinâmica da investigação em resolução de problemas de orientação cognitiva, a qual conheceria o seu apogeu no final da década de setenta e na década de oitenta, agora já orientada não tanto para a pesquisa de estratégias gerais, independentes do contexto da tarefa, mas para o estudo do papel desempenhado pelo conhecimento específico (conceptual ou factual e processual) na resolução de problemas.

Todavia, se a técnica suporte da investigação era, nesse período, a dos protocolos (principalmente verbais), o referencial teórico dominante era o *modelo do processamento de informação,* com as diversas correntes epistemológicas que dele foram sendo derivadas (Newell e Simon, 1972; Tuma e Reif, 1980).

As *teorias do processamento da informação* começam a emergir em meados dos anos sessenta, em íntima conexão com o crescente interesse então manifestado pela simulação computacional do pensamento humano. A metáfora "o homem-o-computador" iria influenciar, de então para cá, as teorias da cognição humana. Essa metáfora constitui a base teórica fundamental de uma tradição emergente nos anos oitenta, tradição essa conhecida por *ciência cognitiva* (Greeno, 1978; Larkin, 1980; Newell e Simon, 1972; Simon e Simon, 1978).

A ciência cognitiva começa a preocupar-se com a análise da relação entre o conhecimento conceptual (encarado aqui em sentido genérico) e as estratégias e processos utilizados para resolver problemas, ou seja, o conhecimento processual. Procurou, com isso, superar algumas das limitações das já referidas correntes piagetiana e ausubeliana.

Pode assim afirmar-se, com toda a propriedade, que os últimos anos têm sido marcados por transformações significativas no estudo da mente e da resolução de problemas. *"Paradigma em Mudança"* é, no entender de di Sessa (1987), uma expressão que traduz fielmente essas transformações. Os computadores, principais responsáveis por essa situação, levaram, por um lado, ao desenvolvimento de novos formalismos, novos conceitos e novas metodologias e, por outro, à recuperação de pontos de vista importantes em correntes já extintas — como é o caso de alguns supostos básicos do gestaltismo.

Por essa razão, a nossa capacidade de descrever processos cognitivos complexos cresceu fortemente nos últimos anos. É geralmente aceite que começámos finalmente a construir formalismos consistentes, capazes de se adequarem à compreensão do pensamento, do conhecimento e da sua relação sinergética, com as implicações positivas que, obviamente, isso tem na própria compreensão da resolução de problemas.

O estado da arte da investigação em resolução de problemas. A situação actual pode, por isso, ser assim caracterizada (di Sessa, 1987):

- ***Crescente aceitação da complexidade***. Relacionada com o que foi dito anteriormente, está a convicção de que pensamento, aprendizagem e conhecimento são entidades extremamente complexas. Já

não se recorre, para os descrever e explicar, a mecanismos simplistas e lineares. As psicologias da época que precedeu os computadores, como as teorias do "estímulo-resposta", tornaram-se, por isso, claramente insuficientes.

- ***Profunda mudança metodológica.*** A metodologia experimental está também a mudar. A técnica de investigação mais importante é agora, como já assinalámos, a análise de protocolos verbais, recolhidos com base em procedimentos assentes no "pensar em voz alta". Pelas suas implicações no avanço da investigação em resolução de problemas, e pelas frequentes alusões que ao longo deste trabalho lhes irão, por isso, ser feitas, dedicamos mais à frente algum espaço à análise dessas técnicas, destacando, em especial, os estudos especialistas/iniciados que nelas se apoiam.

- ***Importante mudança fenomenológica e epistemológica.*** a expressão *knowledge is king,* utilizada por di Sessa (1987), a propósito da situação actual, ilustra bem o que se quer dizer. Apesar de ainda haver preocupação com mecanismos gerais e com processos universais, tem-se derivado da ênfase nesses processos para a tónica em aspectos específicos do domínio em causa. Crê-se hoje que uma coisa é resolver problemas, por exemplo de matemática, e outra, bem diferente, é resolver problemas de física.

Estuda-se o problema da organização do conhecimento e a resolução de problemas em áreas tão diversificadas como física (J. Clement, 1979; Larkin, 1980 e Simon e Simon, 1978), matemática (Greeno, 1980) ou ciências sociais (Voss, 1976).

Essa *mudança de ênfase para o domínio do conhecimento específico* tem, todavia, gerado alguns equívocos e alimentado antigas polémicas. A mais viva e persistente gira em torno da antiga dicotomia *conteúdos* versus *processos*. A enfatização do conhecimento específico leva alguns autores a depreciarem a componente processual, particularmente a componente processual geral. Dado que esta era a que dominava antes das mudanças aqui referenciadas, compreende-se que outros investigadores reajam a tal depreciação.

Um ponto que pode, para já, servir para atestar a ideia de que a componente processual do pensamento tem, obviamente, o seu papel, prende-se com um conceito que, também neste período, haveria de emergir, o já referenciado conceito de *metacognição*. Dado que ele constitui uma das pedras angulares do nosso estudo, teremos ocasião de o tratar em profundidade mais à frente, pelo que nos dispensamos de aqui o descrever em pormenor. Diremos, simplesmente, por isso nos parecer pertinente neste contexto, que a introdução da metacognição representa o culminar do processo de "retorno à mente", isto é, o retomar dos caminhos interrompidos ou desviados pela corrente condutivista. Nada melhor que a seguinte passagem de Bruner (1978) para ilustrar essa ideia:

> The shade of William James is at rest today! (p. 597).

Por outro lado, há também que frisar que a mudança não se verificou apenas ao nível da cognição (em sentido lato). A importância dos aspectos afectivos e sociais do pensamento está também a ser crescentemente reconhecida, ao ponto de as fronteiras com os aspectos cognitivos se terem vindo a esbater (McGuiness e Nisbet, 1991). É mais uma vez Bruner (1978) a destacar essa evidência:

> We want (...) to be good problem solvers but not to the exclusion of all graces. (...) For if one of our objectives is indeed to help people to be good at problem solving, we had better keep in mind how people would like to go at it, if they could get away with it. (pp. 598-599)

Não deixa de ser curioso, paradoxal até, que esse regresso à mente se fique, em boa medida, a dever ao desenvolvimento de uma "máquina pensante": o computador. Mas os novos paradigmas originam em geral novos problemas. Foi o que aconteceu com os modelos de resolução de problemas com suporte informático. Foram concebidos para o terreno dos problemas bem definidos. Só que os problemas reais não são desse tipo. As dificuldades teriam fatalmente que surgir; as limitações teriam fatalmente de emergir. Os problemas quotidianos não se limitam a exigir estratégias bem definidas e simples mecanismos intelectuais. Mobilizam aspectos mais complexos e mais abrangentes: daí, também, o aparecimento da metacognição; daí o apelo a outras dimensões do funcionamento global humano que não apenas o cognitivo.

Mudança Metodológica: a Técnica dos Protocolos Verbais e os Estudos Descritivos Especialistas/Iniciados

Um *protocolo* é uma transcrição cronologicamente sequenciada das actividades e dos comportamentos exibidos por um indivíduo durante a realização de uma tarefa. Num protocolo, interessam a situação de partida e as metas alcançadas, mas também todos os comportamentos e processos intermédios utilizados. Na verdade, se considerarmos que uma tarefa é a descrição de uma meta, de meios para a alcançar e de constrangimentos surgidos no pôr em marcha desses meios, torna-se claro que, no curso da resolução de um problema, a representação da tarefa pelo sujeito e as re-

gras utilizadas são susceptíveis de evoluir de forma significativa. Duncker (1945, 1972) designava esta situação evolutiva por "desenvolvimento" ou "reestruturação" do problema. Ao investigar indivíduos a resolver problemas, não se deve, assim, atender apenas às respostas que eles fornecem, mas também ao tipo, ao número e à sequência de actividades por eles realizadas; daí a importância dos protocolos.

Mas o comportamento observável espontaneamente desenvolvido pelo sujeito surge como o resultado final de uma actividade implícita e fornece informações insuficientes sobre o funcionamento cognitivo. É-se assim levado a *provocar comportamentos intermédios* que tenham uma relação mais estreita com o desenrolar desse funcionamento cognitivo. Dentre esses comportamentos provocados, as *verbalizações* ocupam um lugar importante. Pede-se aos sujeitos sob observação que descrevam tudo o que lhes vai na cabeça, não importando que tal lhes pareça absurdo ou trivial.

Estas ferramentas metodológicas têm, como vimos, raízes históricas muito antigas, nomeadamente em autores que, de algum modo, se enquadram no movimento da Gestalt (Duncker, 1945, 1972 e Selz, citado por Hoc, 1984, por exemplo) e também em autores como Inhelder e Piaget (1961). Esses pioneiros não tinham, contudo, ao seu dispor os meios que permitem hoje formalizar esses protocolos complexos. É assim que este tipo de abordagem experimental ganha ultimamente ânimo graças aos contributos da informática e da inteligência artificial (Newell e Simon, 1972). É referida por muitos autores, sobretudo pelos adeptos das correntes do processamento de informação, como a ferramenta mais poderosa na obtenção de dados sobre a actividade cognitiva do sujeito (Bhaskar e Simon, 1977; Finegold e Mass, 1985; Gorodetsky e Hoz, 1986; Larkin e Rainard, 1984; Larkin e Reif, 1979; Mettes et al., 1980, 1981a, 1981b; Mettes, Pilot e Roossink, 1981;

Newell e Simon, 1972; Reif, Larkin e Bracket, 1976; Stewart, 1982, 1983; Whimbey e Lochhead, 1986).

Tal opção metodológica coloca, contudo, algumas dificuldades; a obtenção de um "bom" protocolo verbal é uma tarefa difícil e complexa, essencialmente pelas razões que se enunciam (Kahney, 1986; Kramers-Pals e Pilot, 1982; Lester, 1980):

- A verbalização do pensamento pode bloquear o processo de pensar ou vice-versa.

- Nem todos os passos do processo são verbalizáveis, por razões várias: a verbalização não é fácil; nem todos os passos são dados conscientemente; pensamos mais depressa do que conseguimos falar.

- O sujeito é colocado numa situação atípica devido ao gravador e/ou à presença do experimentador; mesmo que o investigador seja o professor, ainda assim, a situação será sempre e necessariamente artificial.

- Existe a tendência de alguns sujeitos falarem apenas dos processos que pensam estar correctos; outros podem relatar algo diferente do que realizaram, como tentativa de se autojustificarem.

- Finalmente, são, muitas vezes, os próprios sujeitos a queixarem-se de que lhes é difícil conciliar a necessária concentração na tarefa com a obrigação de explicitarem simultaneamente o seu pensamento.

Não surpreende, por isso, a existência de críticas e detractores desse tipo de metodologia. Nisbett e Wilson (citados por Kahney, 1986), por exemplo, são bastante radicais nas críticas formuladas. Sustentam que os protocolos são "evidências espúrias" dos processos cognitivos, uma vez que não é possível aos sujeitos ter acesso introspectivo aos processos mentais de ordem superior envolvidos na resolução de problemas. Os protocolos são, para eles, racionalizações *a posteriori,* nas quais os sujeitos fornecem hipóteses para explicar as suas actividades cognitivas: o que o sujeito diz "não tem nada a ver" com o que ele faz.

Ao contrário, Ericsson e Simon (citados por Kahney, 1986) tomam posição favorável a essa técnica de investigação, desde que sejam tomadas determinadas precauções: ser, por exemplo, efectivada exactamente no momento em que a actividade decorre e não posteriormente. Perante as críticas de que a concretização do relato interfere com a realização da tarefa, concluíram nos seus estudos que essa interferência não se revelava significativa.

Reconhecem, porém, que processos cognitivos existem que, dada a sua verdadeira natureza, só dificilmente poderão ser alvo de introspecção: os processos automáticos, por exemplo. Esta conclusão é, quanto a nós, merecedora de destaque, na medida em que configura uma das maiores dificuldades de ensinar a resolver problemas: a que tem a ver com a explicitação do conhecimento tácito utilizado quase automaticamente.

Mas não seriam as críticas e as dificuldades da técnica dos protocolos verbais a impedir o vigor dos estudos especialistas/iniciados que nela se apoiam. Estes, como já tivemos ocasião de assinalar, imprimiram um razoável impulso à investigação em resolução de problemas,

particularmente no campo da física. Na verdade, alguma da investigação mais interessante levada a cabo nos últimos anos foi realizada precisamente nesse âmbito (Chi et al.,1981; Larkin e Reif, 1979; Larkin et al.,1980; Reif, Larkin e Bracket, 1976; Simon e Simon, 1978) com base nesse tipo de metodologia[15].

Esses estudos conduziram quase sempre a conclusões idênticas (Kahney, 1986). Mostraram que ambos, especialistas e iniciados, diferem não só na quantidade de informação específica adquirida, como também na forma como essa informação se encontra organizada e é posteriormente utilizada; ou seja, verificava-se diferenciação não só ao nível dos conteúdos como também ao nível dos processos utilizados. As diferenças eram marcadamente favoráveis aos especialistas[16].

No entanto, apesar de o estudo dos processos utilizados pelos especialistas e pelos inexperientes ter produzido conclusões relevantes e válidas no que respeita à resolução efectiva de problemas, sobretudo de problemas de física, essas conclusões possuem limitações significativas — uma parte substancial das quais tem a ver com as que foram antes apontadas para a técnica principal em que se apoiam, a dos protocolos verbais. Dessa forma, tais estudos naturalísticos ou descritivos não têm senão interesse limitado,

---

[15] Destaque também para o campo da genética, em trabalhos liderados por Stewart (Stewart, 1983; Stewart e van Kirk, 1990); esses trabalhos são especialmente importantes por ser a genética um campo da biologia em rápida expansão e que coloca à sociedade "significativas questões políticas, económicas, éticas e educativas".

[16] É óbvio que isso nada tem de surpreendente. Como J. Anderson (1985) assinala, está-se afinal a contrastar alunos (os iniciados) com menos de 200 horas de aprendizagem formal de física, com professores (os especialistas) que levam à volta de 10 000 horas dessa aprendizagem.

como reconhecem autores como Lester (1980), Heller e Reif (1984) ou Wilson (1990).

Para Heller e Reif, é pouco prudente assumir que a realização do especialista é necessariamente a ideal. Não tem, por isso, sentido canalizar os esforços educativos para, simplesmente, ensinar os alunos a comportarem-se como especialistas. Em vez disso, os alunos devem ser ensinados a utilizar explicitamente procedimentos que os especialistas realizam de forma quase automática e em resultado de largos anos de experiência no ramo.

Convergindo no essencial com Heller e Reif, Wilson apresenta uma das mais recentes e mais fundamentadas críticas à linha de investigação especialistas/iniciados, envolvendo as técnicas que a ela têm sido associadas ("pensar em voz alta", observações naturalísticas e etnográficas, estudos retrospectivos ou pós-tarefa, etc.).

Lester realça, sobretudo, a impossibilidade de descrever muitos dos processos mentais que os sujeitos realizam automática e inconscientemente. Em conformidade com essas críticas, o autor explora a validade potencial de uma abordagem alternativa para a identificação e caracterização dos processos que ocorrem durante a resolução de problemas. A sua abordagem apoia-se na metodologia utilizada por Vygotsky (1978, 1979, 1986a, 1986b), e representa, por isso, uma nova orientação para a investigação educacional, proporcionada pelo crescente interesse pela obra do grande psicólogo russo.

Mudança Fenomenológica e Epistemológica: Onde o Conhecimento Recupera a sua Dualidade

Sendo a resolução de problemas uma forma de pensamento e sendo o pensamento e o conhecimento interdependentes, é óbvio que não pode haver resolução de problemas sem conhecimento, tanto em sentido material (conteúdos) como em sentido processual. Desta forma, a finalidade de ensinar a pensar, de ensinar as competências cognitivas, não deve ser julgada incompatível com ensinar conteúdos; ambos são complementares.

Conhecimento declarativo *versus* conhecimento processual: uma relação dialéctica e algumas controvérsias. Mas aquela relação estreita entre o conhecimento e a resolução de problemas não tem sido pacificamente aceite; foi e continua a ser foco de disputas e controvérsias, tanto nos planos epistemológico e psicológico como (ou, às vezes, sobretudo) no plano pedagógico. Se o aspecto processual do conhecimento desde cedo se conseguiu impor — a investigação em resolução de problemas esteve, como sabemos, sobretudo a seguir à Segunda Guerra, centrada nessa dimensão, ou seja, na investigação de processos e estratégias gerais de pensamento que intervêm na resolução de problemas —, já o mesmo não sucedeu no que diz respeito à dimensão material. Para ilustrar esse tipo de disputas, vamo-nos socorrer de uma sugestiva troca de argumentos verificada entre Sternberg (1985) e Glaser (1985).

Glaser defendeu a tese de que a aquisição de competências de resolução de problemas deve ser substancialmente, embora não exclusivamente, explicada em termos de conhecimento específico do domínio em causa. Sternberg critica esse ponto de vista, considerando que ele se enquadra na

grande tendência da psicologia cognitiva dos anos 80, traduzida na transferência de ênfase dos processos gerais para os conteúdos específicos, como factor mais relevante na justificação da realização cognitiva humana, sobretudo no aspecto importante da resolução de problemas.

Mas se, por um lado, Sternberg apoia aquela chamada de atenção para o papel importante dos conhecimentos específicos, durante algum tempo minimizado, aponta, por outro, o perigo de se poder cair num extremo oposto ao que antes acontecia, ou seja, de se passar de uma sobreavaliação da importância dos processos gerais para a sobreavaliação oposta dos conhecimentos específicos. Na sua opinião, deve encarar-se esta questão na base de uma complementaridade interactiva:

> The time has come for Glaser, as well as for the field of cognitive psychology as a whole, to consider the ways in which knowledge and process interact. (p. 572)

O autor refere alguns aspectos da cognição em que as abordagens exclusivamente centradas nos conhecimentos específicos teriam muito "pouco a dizer". Esses aspectos seriam, sobretudo, a aprendizagem e a monitorização cognitiva (faceta da metacognição). Ao responder, por sua vez, a Sternberg, Glaser afirma a dada altura:

> Sternberg misses the main point of my article, which was briefly summed up in my last line, "As individuals acquire knowledge, they also should be empowered to think and reason". (p. 572)

Esta passagem prenuncia que, apesar de divergências pontuais que possam existir entre ambos, os dois autores acabam por convergir na complementaridade entre conhecimentos específicos e processos gerais. Se dúvidas pudesse haver, elas ficariam, quiçá, pelo menos atenuadas, com uma das passagens com que Glaser conclui o seu artigo de resposta a Sternberg:

> All in all, I agree with Sternberg about the presence and significance of domain-general processes (...) Knowledge fosters process, and process generates knowledge. (p. 574)

Quisemos, desta forma, marcar a nossa própria convicção de que, quer no funcionamento da cognição em geral, quer na resolução de problemas em particular, conhecimento específico e processos gerais, ao invés de encarados como entidades dicotómicas, devem antes ser vistos como elementos interactivos e complementares, ambos contribuindo dialecticamente para um desempenho competente na resolução de problemas.

Mas aquela nossa convicção não assenta em bases meramente especulativas; ela encontra, com efeito, farto suporte empírico. A investigação realizada, sobretudo nas duas últimas décadas, levou, na verdade, a concluir que os conteúdos específicos tal como os processos gerais são ambos cruciais para resolver problemas.

No que respeita aos conteúdos científicos, Greeno (1980), Larkin (1980) e H. Simon (1980), por exemplo, realçaram a sua importância e o seu papel na resolução de problemas; Hayes (1987), por seu turno, julga mesmo necessário "dramatizar" essa importância. Costa (1985a), por outro lado, afirma que o conhecimento (no sentido de conteúdos) é a "ferramenta mais poderosa" de que dispomos para resolver problemas.

Mas há uma diferença marcante entre ensinar esse conhecimento como ferramenta que facilita a resolução e ensiná-lo, simplesmente, como uma coisa a memorizar (estático). Larkin (1980) afirma que "não é a mesma coisa ser capaz de enunciar que "a força é igual à massa a multiplicar pela aceleração" (conhecimento de conteúdos) e ser capaz de aplicar essa lei à resolução de um problema (conhecimento de processos).

Resulta daí a necessidade de diferenciar — para que ambas possam ser pedagogicamente valorizadas e não uma abafada pela outra — as duas dimensões, estática (ou material) e dinâmica (ou processual), do conhecimento (Gil Pérez e Carrascosa, 1985; Shuell, 1987). Indo nesse sentido, Piaget (1964) defende que na actividade cognitiva se devem distinguir dois aspectos muito diferentes: o aspecto figurativo e o aspecto operativo, correspondentes a duas vertentes interligadas do conhecimento: o *conhecimento figurativo,* que tem a ver com configurações estáticas ou conteúdos; o *conhecimento operativo,* que, ao contrário, representa os aspectos dinâmicos, como as operações ou os processos mentais.

A actual literatura em resolução de problemas, sobretudo a que tem a ver com as teorias do processamento de informação, adopta, contudo, designações diversas para aqueles dois tipos de conhecimento. Ao conhecimento figurativo piagetiano, ou seja, ao conhecimento de factos, conceitos, princípios e teorias, atribui a designação de *declarativo* — por lhe corresponderem enunciados declarativos de natureza semântica; ao conhecimento operativo, isto é, ao conhecimento de procedimentos, estratégias, regras e operações, atribui a designação de *processual* (J. Anderson, 1985; Kahney, 1986; Stewart, 1982).

Green et al. (1985) lembram que tal classificação é equivalente à velha distinção filosófica entre "saber que" (*knowing that*) e "saber como" (*knowing how*). Conforme a unidade semântica que é relevada, o conhecimento declarativo pode também aparecer como *conhecimento factual* (Larkin, 1980; H. Simon, 1980), *conhecimento conceptual* (Stewart, 1982) ou *conhecimento proposicional.*

H. Simon (1980) e Larkin (1980) acentuam a relevância pedagógica e didáctica da dicotomia em questão. Até porque muitas vezes (demasiadas vezes) acontece que os alunos aprendem conteúdos bastantes mas não processos suficientes para os aplicar. Jung (1985) declara que a distinção declarativo/processual não é totalmente alheia à história da educação, particularmente da educação em ciências. Destaca, a esse respeito, o protesto de Whitehead contra a dominância nos alunos, por responsabilidade que cabe em parte à escola, de *conhecimento inerte.* Referindo-se a essa noção de conhecimento inerte, Bransford et al. (1986) afirmam que não é suficiente aprender conceitos (em sentido genérico) para haver transferência de aprendizagem; há também que aprender processos de os utilizar às novas situações. Se isso não acontecer, o conhecimento de conceitos, ainda que vasto, é "conhecimento inerte" e, por isso, improdutivo.

A distinção entre conhecimento declarativo e processual tem, como já assinalámos, mera validade heurística e pura intenção pedagógica. O conhecimento declarativo e conhecimento processual são indissociáveis e interdependentes. J. Anderson (1982) postula isso mesmo. O modelo por si desenvolvido prevê a possibilidade e a necessidade de o conhecimento declarativo poder passar à forma processual. É aliás o que acontece em muitas situações da nossa realidade quotidiana. Quando, por exemplo, se vai aprender a conduzir, começa-se por assimilar conhecimento declarativo na forma de instruções verbais; mais tarde, esse conhecimento automatiza-se, transforma-se em processos que nos permitem conduzir sem ter que pensar nessas instruções iniciais.

O modelo de Anderson contempla, assim, duas fases principais: uma "fase declarativa", na qual é assimilada e interpretada a informação relacionada com a forma como essa competência pode ser realizada; uma "fase proces-

sual", na qual essa informação é transformada em procedimentos para realizar efectivamente a competência. Na fase declarativa, a mediação verbal desempenha, em geral, um papel insubstituível; com a prática, o conhecimento declarativo é convertido em conhecimento processual, sem a intervenção de outros mediadores, por um processo designado de *compilação de conhecimento.* Durante esse processo, o conhecimento declarativo, de natureza consciente, transforma-se em conhecimento processual, parte dele tácito, menos acessível à consciência e bastante automatizado — vejam-se os automatismos criados quando já se domina a actividade de conduzir.

A teoria de Anderson apoia-se no modelo do processamento de informação e, como a generalidade das teorias que nele se suportam, é baseada em *sistemas de produções* (H. Simon, 1980). Cada produção tem a forma de uma regra básica que especifica uma contingência cognitiva, a qual indica quando é que um dada acção cognitiva pode ter lugar. Ou seja, a *produção* tem associada uma *condição* (a contingência) que especifica as circunstâncias sob as quais a produção pode ser aplicada, e uma *acção* que especifica a operação que tem de ser executada quando a produção realmente se efectiva. De acordo com as teorias do processamento de informação, a mente humana tem armazenada uma enorme quantidade dessas unidades condição-acção.

Estratégias cognitivas: uma forma importante de conhecimento processual. Francis Bacon afirmou um dia que a capacidade do homem para levar a cabo a proeza de mover pedras, desenraizar árvores ou elevar objectos pesados é, em si, bastante reduzida. As nossas potencialidades físicas foram tremendamente multiplicadas com a invenção de ferramentas. Ainda de acordo com Bacon, à semelhança dos nossos esforços físicos,

também as nossas "forças" intelectuais inatas são por demais limitadas. Também estas, no entanto, se podem tornar mais potentes graças a "ferramentas" e "ajudas mentais" adequadas.

Dessas "ajudas mentais", merecem referência especial as *estratégias,* definidas por E. Gagné (1985) como uma sequência de operações ou de processos mentais, orientados para a consecução de um determinado objectivo. As estratégias acabam por ser uma das categorias de conhecimento processual. Por esse facto, o sujeito, ao resolver problemas, não tem necessariamente de estar consciente de todas as estratégias que utiliza ou de todos os passos de uma dada estratégia.

Podemos considerar dois tipos de estratégias: *estratégias gerais* — aplicáveis a uma ampla gama de problemas, independentemente do seu conteúdo (ex., resolver problemas por analogia); *estratégias específicas* — adequadas apenas a áreas de conteúdos particulares. Para os propósitos desta secção, interessam-nos, sobretudo, considerar as estratégias gerais.

E. Gagné (1985) reconhece a sua existência e considera que as estratégias gerais podem ser de valiosa utilidade na procura de solução para uma ampla variedade de problemas, sobretudo quando essa procura se revela demasiado aleatória ou demasiado condicionada. No primeiro caso, interessa conhecer estratégias gerais capazes de ajudar a reduzir o número de soluções possíveis. É o caso, por exemplo, das duas seguintes estratégias:

- ***Estratégia regressiva*** (do objectivo para os dados). É, por exemplo, o procedimento se utiliza quando, perante um problema, se pergunta: "Qual é a incógnita?", sendo a incógnita o objectivo a alcançar. Uma forma poderosa desta estratégia é a conhecida e bastante

citada *análise de meios e fins*[17], que consiste basicamente em encontrar a diferença entre o objectivo e a situação actual, procurar uma operação que seja pertinente para essa diferença, realizar a operação para reduzir a diferença e repetir os passos anteriores até que o problema esteja resolvido.

- ***Estratégia progressiva*** (dos dados para o objectivo). Começa-se por analisar a situação actual (os dados) e realizam-se depois operações capazes de a modificar. As operações que se seleccionam não estão constrangidas pelo objectivo, como acontecia no caso anterior. Por isso, esta estratégia pode muitas vezes resultar infrutífera. Ela só funciona, por isso, quando as operações sugeridas pela situação corrente são adequadas ao objectivo.

No segundo caso, interessaria conhecer estratégias susceptíveis de ampliarem o conjunto de possibilidades à disposição do resolvente, reduzindo as restrições e constrangimentos; é o caso do *raciocinar por analogia* ou o *brainstorming* (Osborn, citado por E. Gagné, 1985).

Larkin (1980) refere-se a uma série de estratégias gerais que aparecem repetidamente em programas de simulação informática da resolução de problemas e que também se utilizam, por exemplo, na resolução de enigmas aritméticos e no jogo de xadrez[18]. Para além da já mencionada *análise de meios e fins,* o autor constatou que eram ainda suportes importantes desses programas as duas estratégias gerais seguintes:

[17] Ver uma boa descrição e numerosos exemplos elucidativos em E. Gagné (1985).

[18] Ver, a esse respeito, Newell e Simon (1972), como boa colectânea.

- ***Planeamento da solução***. Corresponde à substituição do problema original por uma versão abstracta, na qual apenas alguns aspectos centrais foram retidos. Resolve-se primeiro esta versão, sendo a sua resolução usada como guia para resolver o problema original. Larkin et al. (1980a) desenvolveram um programa de computador capaz de simular a ordem sob a qual um especialista resolve problemas de mecânica. Esse programa usa o tipo de planeamento anteriormente referido.

- ***Divisão em subobjectivos ou subproblemas***. Se não se consegue resolver determinado problema, tenta-se substituí-lo por um outro mais simples. Resolvido este, o resolvente tenta agora o problema inicial. Greeno (1978) desenvolve um modelo que simula alguns aspectos da resolução de problemas em geometria. Uma vertente forte do modelo é, precisamente, esta estratégia geral de "subobjectivos".

Estratégias gerais versus conteúdos específicos: antagonismo ou complementaridade? Pizzini et al. (1989) são de opinião que começa a haver indícios de que as estratégias como as que anteriormente foram exemplificadas desempenham, de facto, uma função importante na resolução de problemas na sala de aula, pelo que o seu ensino deveria constituir uma finalidade educativa a considerar.

Porém, os mesmos autores referem também que tais estratégias não podem ser implementadas sem uma quantidade considerável de conhecimento (declarativo) específico da matéria em causa. O que nos leva à necessidade

de aludir à controvérsia[19] que na investigação em resolução de problemas tem existido entre estratégias gerais e conhecimento específico — e que é, no fundo, uma variante da já assinalada controvérsia *conteúdos* versus *processos* ou *conhecimento declarativo* versus *conhecimento processual* (Newell, 1980).

Num dos extremos da dicotomia aqui em questão, fomos encontrar autores como Goldstein e Papert (citados por H. Simon, 1980) que assumiram posições desfavoráveis à própria existência de estratégias gerais de resolução de problemas; no outro extremo, parecem-nos de referir autores como Hayes (1987), Rubinstein (1975) ou Wickelgren (1974). Para estes últimos, a resposta, quanto à existência e relevância de estratégias gerais, será certamente positiva, uma vez que todos eles desenvolveram e implementaram cursos de resolução de problemas nelas assentes.

Preparando o terreno para uma situação de compromisso, H. Simon (1980) contrapõe, afirmando que, em conjunto com grandes corpos de conhecimento específico que é representado em estruturas semânticas ricas, tem de haver processos para operar com esse conhecimento, não sendo, por isso, o armazenamento de conhecimento específico "a única história". Conclui, lembrando que toda a evidência já proporcionada pela ciência cognitiva e pela psicologia indicia na verdade, a existência de métodos gerais de resolução de problemas, os quais podem e devem ser ensinados.

---

[19] H. Simon (1980) compara aquela controvérsia à que outrora existiu relativamente ao papel do ensino do latim (ou da lógica) no desenvolvimento de competências gerais de pensamento. Os autores dividiam-se quanto à possibilidade de as competências adquiridas no campo específico da aprendizagem do latim serem ou não transferíveis para outros campos, ou seja, quanto à possibilidade de essas competências adquirirem ou não generalidade.

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

A situação de compromisso não cala, porventura, a polémica. Porém, ela pode, pelo menos, levar-nos a admitir como plausível a hipótese de que tanto conteúdos específicos como processos gerais são ambos variáveis a considerar na resolução de problemas. Mas sendo ambos variáveis a considerar, a sua contribuição tanto pode ser equitativa como não o ser. E o facto é que a posição actual parece inclinar-se, como demos já a entender, para a ideia de que a competência resolutiva é crucialmente dependente do contexto específico (Newell, 1980), querendo isso significar que a tónica está, na verdade, a ser posta mais nos conteúdos específicos e menos nas estratégias gerais.

Na verdade, investigações com computadores sobre as diferenças especialistas/iniciados levaram justamente àquela conclusão. Inicialmente admitia-se a hipótese — bastante plausível, aliás — de que a maior competência dos especialistas fosse, com efeito, devida à posse de estratégias gerais mais poderosas. Descobriu-se, todavia, que eram os iniciados e não os especialistas quem utilizava aquilo que se considera ser uma estratégia relativamente mais poderosa (Chi et al., 1982). Como refere E. Gagné (1985), os grandes mestres de xadrez parecem actuar na base de uma estratégia tipicamente rotulada de "fraca" (estratégia progressiva), conduzindo a sua acção a partir do estado inicial do problema. No lado oposto, os iniciados nesse jogo levam mais tempo a escolher a jogada; parecem analisar conscientemente se aquele movimento os leva mais perto do objectivo.

Larkin e colaboradores (Larkin, 1980; Larkin, 1981a, 1981b; Larkin et al., 1980a, 1980b) obtiveram resultados idênticos para o caso da resolução de problemas de física. Essas conclusões foram posteriormente validadas pelos mesmos autores, agora com base na utilização de programas que simulavam o desempenho dos especialistas e dos iniciados. O programa "espe-

cialista" funcionava progressivamente, com base em "unidades funcionais de ampla escala", enquanto o programa "iniciado" o fazia regressivamente, utilizando pequenas unidades de conhecimento mais ou menos linearmente sequenciadas. Essa característica das estratégias dos especialistas e dos iniciados foi posteriormente comprovada por Simon e Simon (1978) em cinemática, Reif e Heller (1982) em dinâmica e Caillot (1984) na área da electricidade.

Todavia, há que esclarecer o que à primeira vista poderia ser considerado um paradoxo: um especialista resolver problemas utilizando procedimentos menos eficientes (estratégias mais fracas), relativamente aos que um não especialista utiliza. Convém lembrar que a estratégia escolhida pelo especialista assenta numa sólida base de conhecimentos e numa enorme experiência previamente acumulada. Isso contribui para que aquilo que para um iniciado pode ser uma situação verdadeiramente problemática, para um especialista possa não o ser de todo, sendo antes um exercício ou um problema-tipo. Em certo sentido, o comportamento do especialista não será, por isso, estratégico. Se fosse confrontado com verdadeiras situações para ele realmente problemáticas, o especialista iria, muito provavelmente, utilizar uma estratégia idêntica à do iniciado (E. Gagné, 1985).

Por outro lado, outros investigadores (por exemplo, Elstein et al., citados por E. Gagné, 1985) realizaram estudos em que não se verificavam diferenças entre especialistas e iniciados nas estratégias gerais utilizadas. Ambos pareciam diferir, isso sim, na quantidade e na qualidade dos conhecimentos específicos que possuíam.

Quer dizer: aquilo que parece realmente actuar em desfavor do iniciado relativamente ao especialista é o facto de o primeiro possuir conhecimento

específico em menor quantidade e menos bem organizado; o especialista, ao contrário, deve a sua maior competência à posse de conhecimento específico em maior quantidade e a uma organização desse conhecimento na memória mais estruturada e mais complexa.

Em forma de síntese, podemos afirmar que uma das consequências da recente investigação em resolução de problemas foi ter contribuído para esbater a distinção que outrora era feita — ver taxonomia de Bloom (Bloom, Krathwol e Masia, 1976) — entre "comportamento baseado em conhecimento" e "comportamento baseado em resolução de problemas". Pensa-se, actualmente, que toda a resolução de problemas se baseia em conhecimento, ainda que esse conhecimento possa assumir a forma de estratégias gerais. Adopta-se, assim, uma posição em que o significado do termo "conhecimento" subsume não só a parte dos conteúdos específicos como também estratégias ou outros processos cognitivos gerais.

É essa a posição que aqui também assumimos, embora constrangimentos vários, nomeadamente o peso da tradição, nos possam fazer desviar, por vezes, dos supostos consignados nessa assunção. Assunção que reflecte, afinal, a mudança fenomenológica e epistemológica que constitui, no fundo, o cerne desta secção. Mudança essa que marca um ponto de viragem fundamental: associada à vertente estática que tradicionalmente lhe é atribuída, o conhecimento como que recupera a sua vertente dinâmica que, entretanto, lhe havia sido sonegada; uma e outra, vertente estática e vertente dinâmica, passam a ser encaradas como um todo sistémico, diferenciado e dialecticamente interactivo.

1.2

A NATUREZA DA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS COMO COMPETÊNCIA COGNITIVA: MECANISMOS PSICOLÓGICOS FUNDAMENTAIS

Como competência cognitiva, a resolução de problemas é uma actividade intelectual que, se bem que já largamente estudada, é, como vimos, paradoxalmente ainda pouco conhecida. Trata-se, de facto, de uma competência que a investigação ainda não conseguiu caracterizar de forma universal e completa (Birch, 1986). Na psicologia cognitiva, a resolução de problemas tem sido utilizada extensivamente, descrevendo quase todas as formas de cognição. J. Anderson (1983), por exemplo, classifica todo o comportamento dirigido para um fim (consciente ou inconsciente) como resolução de problemas; Wickelgren (1974) descreve a resolução de problemas como uma tentativa mental de atingir um estado final, um objectivo cognitivo.

Persistem, assim, grandes insuficiências conceptuais e epistemológicas relacionadas com a resolução de problemas. Essas insuficiências incluem falta de conhecimento e compreensão dos processos e mecanismos realmente utilizados por quem resolve (Gil Pérez e Martinez Torregrosa, 1983a, 1983b). Isso traz implicações manifestas, em parte já discutidas, mas que aqui vale a pena sintetizar:

- Por um lado, leva a que a noção de *resolução de problemas* seja encarada pelos diferentes autores segundo ângulos também diferen-

tes — resolução de problemas como *objectivo* ou *produto de aprendizagem* (Aylesworth, 1965), resolução de problemas como *método de ensino* (Mahan, 1957), resolução de problemas como *método* ou *forma complexa de aprendizagem* (R. Gagné, 1985) ou resolução de problemas quase como *sinónimo de pensamento* (Mayer, 1986).

- Por outro lado, essa falta de concordância leva outros autores (por exemplo, Garrett, 1987 ou Good e Smith, 1987) a defenderem a inutilidade de tentar desenvolver programas didácticos assentes na resolução de problemas, antes de ser possível saber o que é, afinal, resolver problemas, que tipo de processos e conteúdos intervêm, qual a relação entre eles, quais são passíveis de ensino.

Modelos Cognitivos da Resolução de Problemas: uma Amostra Significativa

Apesar das insuficiências antes mencionadas, existe já na literatura um rico manancial de estudos importantes e úteis sobre a natureza e os mecanismos da resolução de problemas. Sabe-se, por exemplo, que alguns problemas se resolvem de repente, num único passo. A maior parte deles, mobiliza, no entanto, mecanismos bem mais longos e mais complexos. Nuns casos, opta-se para os explicar por um *mecanismo de tipo descontínuo,* em que se isolam fases autónomas e sequenciadas; noutros, porém, contrapõe-se com

um *mecanismo contínuo,* em que não se julga possível nem pertinente identificar fases isoladas.

Modelos de Natureza Descontínua

São exemplos da primeira perspectiva (descontínua) modelos como os propostos por Johnson, constituído por *três fases* discretas, Bayles com *quatro fases,* Dewey com *cinco fases* e Oburn com *seis fases* (in Chiappetta e Russell, 1982). Garrett (1987) atribui disparidades como esta a um conjunto de factores que, começando por uma pobre conceptualização da resolução de problemas, passa muito pela diversidade de paradigmas conceptuais e metodológicos utilizados.

Foi Dewey (1933), em 1910, na obra *How we Think,* o primeiro autor a apresentar uma descrição formal e sistematizada dos passos sucessivos que, na sua opinião, a resolução de problemas implica. O seu modelo, que não foi significativamente alterado daí para diante, apresenta as seguintes cinco fases fundamentais, de acordo com a forma como Ausubel o interpreta, à luz da sua *teoria da aprendizagem significativa* (Ausubel, Novak e Hanesian, 1978):

1.ª ***Detecção do problema*** — estado de dúvida, perplexidade ou tomada de consciência de uma dificuldade.

2.ª ***Definição do problema*** —tentativa de identificar e caracterizar o obstáculo e os fins a atingir (compreender a natureza do problema).

3.ª ***Formulação de hipóteses*** —derivação de hipóteses com base no relacionamento dos aspectos presentes na situação encontrada (que pode ser a despoletada por um enunciado) com aspectos já incorporados na estrutura cognitiva.

4.ª ***Verificação das hipóteses*** —avaliação sucessiva das hipóteses e reformulação do problema.

5.ª ***Incorporação da solução na estrutura cognitiva*** —isto é, nova aprendizagem, a qual irá permitir a aplicação da solução a outros problemas semelhantes.

Noutra perspectiva, pode referir-se a contribuição da psicologia da Gestalt, a qual introduz algumas novas noções (exemplo, a de *estrutura*) que viriam a ter grande importância no futuro. Para o gestaltista Wallas (citado por Mayer, 1986) a resolução de problemas envol

1.ª ***Preparação*** — recolha de informação e ten
solução.

2.ª ***Incubação*** — "deixar o problema de lado", p

3.ª ***"Insight "***— aparecimento súbito da chave pa

4.ª ***Verificação*** — avaliação da solução para ver s

Mais recentemente, Hayes (1987) publica um mo
blemas que viria a ser posteriormente bastante ut
constitui, afinal, uma síntese enriquecida dos que
tido, aquele autor considera, que ao resolver um prc
tas vezes sem disso nos darmos conta, uma sequên
tivos do tipo:

1.ª ***Detecção do problema*** — reconhecimento de que
solver, isto é, um obstáculo a superar.

2.ª ***Representação do problema*** — desenvolvimento d
externos, tendentes a conhecer a natureza desse obstá

3.ª ***Planeamento da solução*** — concepção de um plan
colmatar a lacuna cognitiva associada ao problema.

4.ª ***Execução do plano*** — concretização da via escolhida.

5.ª ***Avaliação da solução*** —análise do resultado obtido, verificando, nomeadamente, se ele é compatível com o problema proposto e se permite, efectivamente, superar o conflito cognitivo inicial.

6.ª ***Consolidação de conhecimentos*** — ampliação do referencial cognitivo, com incorporação dos conhecimentos novos (conceptuais ou processuais), adquiridos a partir da consecução das tarefas implementadas.

É evidente que, sobretudo em problemas complexos, o nosso procedimento intelectual não segue a linearidade que a sistematização anterior deixa transparecer. Pode acontecer que a dada altura sejamos, por exemplo, forçados a concluir que a representação do problema que vínhamos utilizando é inadequada e que existe a necessidade imperiosa de a reformular (Hayes, 1987).

Hayes condensa aquelas seis fases em *dois grandes mecanismos,* por ele tomados como decisivos:

1. *Compreensão da natureza do problema, através da representação interna e externa do mesmo.*

2. *Concepção e execução dos planos e estratégias necessários à superação do obstáculo em causa.*

Modelos de Natureza Descontínua

Ao contrário dos anteriores, o modelo proposto por Newell, Shaw e Simon (Newell e Simon, 1972) constitui um bom exemplo dos modelos fundados na existência de mecanismos psicológicos de tipo contínuo. Esse modelo pressupõe que, ao resolver problemas, se passa de um *estado inicial* a um

estado final, através da aplicação de um conjunto de *operadores*. Essa proposta, particularmente importante no impulso que teve na simulação em computador do comportamento cognitivo humano[20] , inclui como aspecto nuclear a noção de *espaço do problema,* a qual tem correspondência na noção de representação interna de Hayes. Partidário desse modelo, Wickelgren (1974) define *resolução de problemas* como o encontrar do caminho ou da rota adequados através do espaço do problema.

Para aqueles autores, a resolução de problemas é descrita como uma interacção entre a tarefa objectiva e o sujeito, sendo este encarado como um sistema processador de informação. H. Simon defende, nesse sentido, que é tão importante compreender as características mais relevantes dessa tarefa objectiva ("ambiente da tarefa") como compreender as características do sistema processador de informação que a resolve ou tenta resolver.

O sistema humano processador de informação tem como elemento fundamental a *memória.* Segundo a sugestiva metáfora de Fisher (1990), a memória pode ser imaginada como se lhe correspondesse uma espécie de correia transportadora que, quando em funcionamento, transporta um fluxo contínuo de informação do exterior para ser processada.

Inicialmente, a informação recebida passa à *memória a curto prazo.* Aí, ou é rejeitada ou é efectivamente processada, seguindo, já transformada, para a *memória a longo prazo,* suposta como de capacidade ilimitada. Diferentemente ao que acontece com a memória a longo prazo, a memória a curto prazo rapidamente se satura. Num artigo de investigação repetidamente citado e, consequentemente, já com o estatuto de clássico neste

[20] Ver, como obra fundamental nesse campo, o livro *Human Problem Solving* de Newell e Simon, 1972

campo, G. Miller (1956) postula em 7 ± 2 o número máximo de parcelas de informação (ou *chuncks*) desconexas — por exemplo, números, nomes, factos, etc. —, que podem ser simultaneamente processadas na memória a curto prazo — também designada de *memória operativa,* justamente por ser nela que têm lugar as operações de processamento.

A memória a longo prazo parece estar organizada em "conglomerados" de informação, tais como configurações de sons, formas ou símbolos. O que torna um indivíduo fluente, por exemplo numa língua, não é tanto o facto de saber uma grande quantidade de palavras, mas de possuir um rico conhecimento de configurações em que essas palavras intervenham. O mesmo se passa noutras áreas: o mestre em xadrez não só sabe qual o melhor movimento para dada posição, como tem acesso a uma enorme reserva memorizada dessas unidades estruturais organizativas (Fisher, 1990). Quer dizer, o especialista numa dada área é-o não tanto pela quantidade de informação que tem armazenada mas pela qualidade organizativa dessa informação.

Segundo este modelo, a resolução de problemas é, assim, decisivamente influenciada por características do sistema processador de informação tais como a sua capacidade de memória operativa. É óbvio que não só o processamento operativo interessa; interessa também o conteúdo desse processamento. Utilizando esta terminologia, interessa toda a informação que o resolvente possuir na memória a longo prazo, quer ela se refira a factos conceitos ou princípios (conhecimento declarativo) quer tenha a ver com a procedimentos ou estratégias (conhecimento processual).

Representação de Problemas: um Mecanismo Decisivo

É frequente os alunos falharem, logo à partida, por não terem compreendido efectivamente o problema. Compreender o problema implica encontrar respostas para questões como: *O que é que se sabe? O que é que não se sabe? De que tipo de solução se está à procura? Que nos impede de a ela chegar?*

E a compreensão pode falhar por duas razões essenciais: por o aluno não conseguir uma representação sólida e coerente do problema, em virtude de lhe escaparem elementos cruciais; ou por o compreender de forma diferente, por ter construído uma representação inadequada, ainda que lógica e coerente (Fisher, 1990).

Pensava-se, inicialmente, que esse processo de compreensão consistia simplesmente na transposição directa dos elementos da tarefa para um conjunto de operadores cognitivos apropriados (Greeno, 1980). Estar-lhe-ia associado, desse modo, um mecanismo singular e quase instantâneo — por exemplo, o *insight* dos gestaltistas.

Recentemente, em especial na área da física (Bodner e McMillen, 1986; Bunce, Gabel e Samuel, 1991; Chi, Feltovich e Glaser, 1981; Dufresne, 1989; Larkin, 1980; Simon e Simon, 1978), desenvolveram-se estudos que têm revelado a existência de processos intermédios de compreensão que servem de mediadores entre as componentes iniciais da tarefa e as estratégias de resolução (Greeno, 1980). Tais processos ou estruturas compõem o que se designa por *representação do problema.* Esta, sendo essencialmente um mecanismo interior ao sujeito (*representação interna*), pode, no

entanto, ter também manifestações exteriores complementares (ou *representações externas).* As representações externas traduzem-se, concretamente, na realização de esquemas, esboços, diagramas, notações simbólicas, equações matemáticas e outros procedimentos externos que possam influenciar, de algum modo, a compreensão do problema e o rumo que o processo de resolução pode tomar.

Antecedentes Filosóficos do Conceito de Representação

Essa ideia de que a resolução de um problema, para além das características objectivas da situação exterior, depende fortemente da representação mental que o sujeito dele faz não é nova; ela é veiculada tanto pelo conceito de *reestruturação* dos gestaltistas (Duncker, 1945, 1972) como pelo de *assimilação* em Piaget (1964).

Esses autores ter-se-ão inspirado na teoria de Kant sobre a construção do conhecimento (Kant, 1988, 1989; Deleuze, 1991; Vancourt, 1991). Na verdade, é notório que a formulação kantiana (por exemplo, na *Crítica da Razão Pura*) utiliza profusamente o termo e a noção de representação. A utilização por Kant desta entidade subjectiva é, afinal, um corolário da tese epistemológica fundamental do grande filósofo, a qual se encontra consignada no que Kant considera a sua própria "revolução coperniciana". É nuclear nessa tese kantiana a substituição da ideia de "harmonia entre o sujeito e o objecto (...) pelo princípio de uma submissão *necessária* do objecto ao sujeito" (Deleuze, 1991, p. 21). O sujeito ganha em protagonismo, em intervenção activa, no processo de construção do conhecimento — daí ser a filosofia de Kant como que uma das fontes inspiradoras da actual epistemologia construtivista.

Compreende-se, assim, que a noção de representação tenha em Kant — como o tem na psicologia cognitiva, em geral — justamente uma acepção activa. Kant distingue entre *representação* e *o que se apresenta* ; como escreve Deleuze (1991), "o que conta na representação é o prefixo: *re-*-presentação implica uma retoma activa daquilo que se apresenta" (p. 16).

A Natureza Subjectiva do Fenómeno da Representação

Em psicologia, seriam os trabalhos de Newell e Simon (1972) que, no quadro do já referido modelo do processamento de informação, haveriam de elaborar o conceito de representação de problemas e de lhe conferir estatuto próprio e conteúdo preciso. Distinguiram a situação problemática externa (com a noção de *espaço da tarefa*) da sua representação mental (com a noção de *espaço do problema*). A representação ou espaço do problema é, nessas circunstâncias, a *interpretação pessoal* que o sujeito faz dos diferentes elementos de uma situação problemática (McGaw, 1984).

Uma representação interna está, assim — tal como em Kant, e ao contrário do afirmado pela tese empirista —, muito longe de ser uma cópia mais ou menos fiel da situação externa que lhe corresponde. Ao construí-la, o sujeito acrescenta sempre e necessariamente aspectos que são da sua própria iniciativa, muitos deles como consequência do seu conhecimento e das suas categorias *a priori* .

A maneira como se representa um problema exerce efeitos determinantes na sua resolução, sendo a forma de representação escolhida um factor crítico no grau de dificuldade que o problema pode assumir; essa forma particular de representação condiciona fortemente a compreensão que se conse-

gue da situação problemática (Hayes, 1987; J. Anderson, 1985). A resolução de um dado problema depende, por isso, da aptidão do sujeito para o representar de novas maneiras. O conceito gestaltista de *rigidez funcional* serve bem para dar força teórica a essa asserção. Quando os sujeitos ficam presos a representações rígidas ou convencionais, ou seja, quando revelam incapacidade de construir novas representações, manifestarão por certo incapacidade resolutiva (Duncker, 1945, 1972).

Apesar de o fenómeno da representação ser decisivo ao longo de todo o processo de resolução, ele é-o, porventura, ainda mais na fase inicial desse processo (Bodner e McMillen, 1986; Bunce, Gabel e Samuel, 1991; Chi, Feltovich e Glaser, 1981; Dufresne, 1989; Gagné, E., 1985; Hayes, 1987; Heller e Reif, 1984; Reif, 1983b). É assim que, ao falarmos de representação de um problema, estamos muitas vezes a pensar nessa representação inicial. Tendo em conta a inegável importância desse construto, dedicamos-lhe no ponto que se segue alguma atenção específica.

Representação Inicial: Onde Tudo se Joga

A maneira sob a qual um problema é inicialmente representado é crucialmente importante, uma vez que ela pode determinar a facilidade ou a dificuldade da resolução subsequente — ou mesmo a impossibilidade de o sujeito a efectuar. Baseados na sua própria evidência experimental, Bodner e McMillen (1986) acentuam a importância dessas fases preliminares de resolução de problemas que designam de *reestruturação cognitiva.*

Esse papel decisivo da primeira representação é, não obstante, frequentemente ignorado ou subvalorizado, por se tratar de um passo preliminar que os especialistas (professor incluído) em geral executam de forma rápida e quase automática (Heller e Reif, 1984).

Para Hayes (1987), a representação inicial é, porém, totalmente indispensável para que se possa compreender a "verdadeira natureza do problema". A compreensão desta só é possível se, para além da descodificação do material presente no contexto ou espaço da tarefa, o sujeito for ainda capaz de activar conhecimentos armazenados, pertinentes para a situação (Nickerson, Perkins e Smith, 1985; Sternberg, 1985b, 1985c, 1985d); essa activação está absolutamente determinada pelo tipo e pela qualidade da representação inicial. Conseguido esse objectivo, será possível ao sujeito construir uma representação, agora mais elaborada, do problema.

As experiências realizadas por Duncker e por outros gestaltistas, a propósito do fenómeno da rigidez funcional, permitiram reforçar essas ideias, em particular a da representação inicial ser determinante na activação do conhecimento (tanto conceptual como processual) e na selecção e elaboração das estratégias a utilizar.

Experiências mais recentes vieram também consolidar essa conclusão. Chi et al. (1981), por exemplo, num estudo bem conhecido, realizaram uma experiência em que solicitaram a sujeitos especialistas (professores de física) e iniciados (alunos universitários que tinham concluído a sua primeira disciplina de física) que efectuassem a categorização de uma série exaustiva de problemas académicos de mecânica, de acordo com um qualquer critério à sua escolha. Como critério utilizado, os *iniciados* recorreram sobretudo a dados objectivos presentes na *estrutura superficial* explícita

dos problemas (por exemplo, planos inclinados, roldanas, lançamento de projecteis). Os *especialistas,* ao contrário, confrontados como os iniciados com problemas completamente diferentes na sua estrutura superficial, foram capazes de os agrupar, quando isso se tornava apropriado, numa mesma categoria; procediam essencialmente em função de aspectos característicos da *estrutura profunda* dos problemas, isto é, de leis e princípios básicos (subjacentes, por exemplo, à 2.ª lei de Newton ou aos princípios de conservação da energia e do momento linear).

É evidente que a categorização com base em princípios, por ser mais geral e conceptualmente mais rica, terá subjacente uma representação inicial mais eficaz e conduzirá, pelo menos potencialmente, a uma resolução de problemas mais bem sucedida (J. Anderson, 1985). A conclusões idênticas chegaram, também, Dufresne (1989) e Caillot (1984), utilizando problemas de física, ou Bunce et al. (1991), agora com problemas de química.

As Representações Externas e a sua Função Complementar

As representações internas existem sempre; são absolutamente imprescindíveis para a resolução do problema. Elas, como refere Hayes (1987), constituem o meio na base do qual pensamos, tal como as palavras constituem o meio através do qual comunicamos. As representações externas, não sendo sempre absolutamente imprescindíveis — há problemas que se resolvem mediante simples processamentos mentais —, constituem, no entender de muitos autores, um precioso avivador da memória. Problemas existem que são praticamente irresolúveis, se não se conseguir uma representação externa adequada; elas ajudam, nomeadamente, a controlar a exe-

cução das estratégias e a situar relativamente aos passos desenvolvidos ou a desenvolver.

A sua função psicológica não está, porém, confinada exclusivamente a esse papel — importante, é verdade, mas, para todos os efeitos, complementar e muitas vezes dispensável. Segundo Paige e Simon (citados por Mayer, 1986), elas facilitam a descoberta e a caracterização de relações conceptuais e ajudam a detectar contradições lógicas presentes no enunciado e nos processos de raciocínio que suportam a implementação das estratégias. Além disso, elas são essenciais na resolução daqueles problemas cuja complexidade excede as possibilidades do raciocínio meramente mental (Hayes, 1980).

Os mesmos autores comprovaram que os alunos que acertavam determinados tipos de problemas eram, em geral, aqueles que recorriam a representações externas integradas e consistentes. Por outro lado, ao permitirem, na sugestiva expressão de Watts (1991), "desenhar os pensamentos", as representações externas possibilitam uma melhor definição das ideias, uma escala de apoio, reduzem o número de soluções possíveis, encurtando assim o espaço do problema. Conclusões idênticas podem ser inferidas das seguintes palavras de Toulmin (1953):

> Wherever possible, physicists would like to be able to represent the phenomena they are studying pictorially: where this is possible, one can "see" the force of their explanations in a specially convincing way. For the same reason, geometry seemed to mathematicians in the seventeenth century to be superior to algebra: they felt that algebra provided only a shorcut to truths which geometry displayed. (p. 32)

Representações externas e "intuição física". Um ponto final a reter é a contribuição que as representações externas podem dar no desenvolvimento daquilo que muitos autores designam por *intuição física.* Este fenómeno, conforme o concebe Hestenes (1987), tem a ver com a aptidão para construir *modelos mentais* (ou representações internas). Ora, apesar de ainda pouco se conhecer acerca dos mecanismos profundos das representações mentais — já para não falar da proliferação de significados que o próprio termo "intuição" faz emergir —, sabe-se, contudo, que elas são, de facto, influenciadas por representações externas. Sendo isso verdade, e admitindo-se a título de hipótese que entre intuição física e representação interna possa existir uma íntima relação dialéctica (Nickerson, Perkins e Smith, 1985), parece, na verdade, haver todas as razões para crer que o desenvolvimento da intuição física pode, como afirma Hestenes, ser estimulado pelo recurso a representações externas adequadas.

A conclusões desse tipo chegaram Simon e Simon (1978), com base em estudos de tipo especialistas/iniciados que utilizavam problemas de física. Os resultados obtidos sugeriram aos autores que, ao contrário dos iniciados, os sujeitos especialistas recorrem a uma forte intuição física. Essa intuição possibilitaria a construção de uma representação física sólida e consistente, que torna possível ao especialista utilizar com segurança estratégias de resolução progressivas. Os iniciados, na falta de uma representação física com essas características, sentem dificuldade em funcionar progressivamente; é por isso que adoptam estratégias mais de tipo regressivo.

Procurando clarificar e consolidar esse tipo de conclusões, Larkin et al. (1980) construíram programas informáticos que tentavam simular o comportamento dos especialistas e dos iniciados. Identicamente ao que acontecia nos estudos directos de Simon e Simon, o programa "especialista"

funcionava progressivamente e o programa "iniciado" regressivamente. Mas, para além disso, uma qualidade particularmente diferenciadora entre os dois programas tinha a ver com o facto de o programa "especialista" estar fundado em esquemas de organização do conhecimento bem estruturados, interligados e de ampla escala e generalidade, enquanto o programa "iniciado" era suportado por esquemas organizativos algo desconexos e fragmentados, de reduzida dimensão e generalidade. Quer dizer: o que parecia serem factores especialmente distintivos entre ambos eram o tipo de estratégias utilizadas e a qualidade da organização do conhecimento.

Esse tipo de análise, conjugada com as conclusões empíricas directas que apontam no mesmo sentido, levaram estes e outros autores a admitirem a hipótese de que a variável organização do conhecimento constitui uma condicionante importante da resolução de problemas, funcionando a representação como mediador entre ambas. Convém, aliás, aqui recordar que as noções de representação e organização do conhecimento eram já pilares fundamentais da teoria da Gestalt, particularmente na sua aplicação à aprendizagem e à resolução de problemas. Dedicaremos a próxima secção, precisamente, a uma análise mais detalhada desse tipo de relações.

Organização do Conhecimento: um Outro Mecanismo Decisivo

A qualidade da organização do conhecimento é uma característica que diferencia favoravelmente os especialistas dos iniciados e que os leva a conseguir melhores desempenhos cognitivos. Segundo H. Simon (1980), os especialistas distinguem-se dos iniciados mais pelo domínio elevado de

uma base de conhecimento específico e por uma melhor organização dos mesmos do que por uma capacidade superior de memória.

Na verdade, como refere Dufresne (1989), os especialistas parecem armazenar a informação em sistemas organizados e estruturalmente hierarquizados; os iniciados, ao contrário, parecem realizar esse armazenamento na base de agregados algo amorfos e escassamente interligados (Larkin et al., 1980a). Além disso, conforme Resnick faz saber (1983), e tal como o sugerem as experiências (já citadas) de Chi et al. (1981, 1982) ou Caillot (1984), os conhecimentos dos especialistas são estruturados em torno de princípios básicos sendo os dos iniciados estruturados em torno de aspectos superficiais. Compreende-se, assim, que a capacidade de organizar o conhecimento na memória a longo prazo seja, para muitos autores, um factor distintivo do ponto de vista da competência intelectual (Almeida, 1988).

Para G. Miller (1956), o principal *handicap* da memória humana não é tanto uma questão de capacidade de armazenamento de informação, mas antes de reutilização da informação armazenada. Isso porque, apesar da implausibilidade biológica dessa acepção, estudos apontam para a admissibilidade da hipótese de ser praticamente ilimitada a capacidade da nossa memória a longo prazo. A chave do processo de reutilização da informação é assim, para o autor, a organização.

Organização: uma Qualidade Essencial do Conhecimento

A noção de organização do conhecimento aparece na teoria da Gestalt intimamente associada à noção de "estrutura". Dado que esta constitui como que a divisa daquela corrente psicológica, legítimo é afirmar que, tal

como ela, a organização do conhecimento faz parte da essência, ou seja, está no cerne daquela teoria.

Embora sem referir explicitamente a expressão "organização do conhecimento", Kant reserva já à ideia que essa expressão representa um estatuto epistemológico idêntico ao que a mesma veio mais tarde a assumir no gestaltismo — o que não surpreende, se nos lembrarmos que muitos dos pressupostos gestaltistas são derivados da filosofia kantiana. Interpretando o pensamento de Kant, Deleuze (1991) escreve:

> Os fenómenos estão necessariamente submetidos às categorias, de tal modo que, pelas categorias, somos os verdadeiros legisladores da Natureza (p. 24)

É através delas, das categorias, que conseguimos exercer essa nossa função legisladora sobre a Natureza, que conseguimos, dito de outro modo, impor unidade (e organização) ao diverso dos fenómenos. Essa imposição de unidade e organização aos conhecimentos dispersos constitui, para a filosofia kantiana, "uma necessidade do espírito humano" (Kant, 1989, p. XVI).

É o próprio Kant que define as categorias como conceitos puros do entendimento, os quais conferem a unidade ("síntese") que o entendimento *a priori* contém em si. Só mediante esses conceitos, o entendimento pode compreender algo no diverso da intuição, isto é, pode "pensar um objecto". A unidade proporcionada pelas categorias é, no fundo, a própria essência do pensamento, assim como o é do conhecimento:

> A espontaneidade do nosso pensamento exige que este diverso (de elementos da intuição) seja percorrido, recebido e ligado de determinado modo, para que se converta em conhecimento. (Kant, 1989, p. 108)

Mas é através da faculdade da razão que essa "necessidade do espírito humano" de unificar o diverso mais supremamente se alcança:

> Todo o nosso conhecimento começa pelos sentidos, daí passa para o entendimento e termina na razão, acima da qual nada se encontra em nós mais elevado que elabore a matéria da intuição, e a traga à mais alta unidade do pensamento. (Kant, 1989, p. 298)

Representação e Organização: Algumas Sinergias

Como demos já a entender, é plausível supor que entre a organização do conhecimento e a sua representação possa haver uma íntima relação dialéctica. Trata-se de uma hipótese não meramente especulativa; possui já algum suporte experimental.

Chase e Simon (citados por Mayer, 1986), por exemplo, ao estudarem o comportamento de mestres de xadrez, face a indivíduos não especialistas nesse jogo, concluíram que, aparentemente, os mestres não dispunham de maior capacidade de memória ou de uma maior competência intelectual. O que realmente os distinguia era a posse de configurações mais extensas, mais estruturadas e elaboradas, ou seja uma melhor organização do conhecimento memorizado. Aqueles autores admitiram, então, que eram essas diferenças na organização do conhecimento na memória que implicavam diferenças correlativas na qualidade das representações iniciais dos sujeitos e no sucesso dos desempenhos cognitivos que elas induzem.

Do mesmo modo, Chi et al. (1982) interpretaram o facto (já referido) de os iniciados basearem a construção das suas representações iniciais em aspectos da "estrutura superficial" dos problemas e os especialistas em aspectos da "estrutura profunda", como indiciando diferenças importantes nas respectivas estruturas de organização dos conhecimentos na memória — ver, também, Reif e Heller, 1982 ou Caillot, 1984.

Organização e esquemas de memória. A relação antes postulada entre organização e representação do conhecimento não constitui, como vimos, mera hipótese teórica, mas uma quase evidência empírica. Evidência que leva alguns autores a utilizar os mesmos termos — por exemplo, *esquemas, "estruturas", "scripts",* etc. (Pitt, 1983) —, para descrever ambos os fenómenos. É óbvio que essa situação potencia ambiguidades e equívocos, até porque, ainda que relacionados, os dois fenómenos são conceptual e funcionalmente diferenciados.

O termo esquema é, a esse respeito, o que mais tem sido utilizado. É, por essa razão, o mais susceptível de gerar confusões e ambiguidades terminológicas e conceptuais (Mcgaw,1984). Estamos mais uma vez perante um legado importante da teoria de Kant. Essa teoria define esquema como um "produto da imaginação", intermediário entre os planos do sensível e do entendimento, ou seja, entre os fenómenos e as categorias (Kant, 1989). Ao contrário do que se poderia ser levado a pensar, não se trata de uma imagem, mas de um *método* de construção de uma imagem, em conformidade com um dado conceito:

> É esta representação de um processo geral da imaginação para dar a um conceito a sua imagem que designo pelo nome de esquema desse conceito. (Kant, 1989, p. 183)

Sendo um método ou um processo da imaginação, o esquema é, em Kant, uma entidade formal e não figurativa. Por outro lado, e a própria definição anterior disso é prova expressa, o esquema kantiano está sobretudo (ou exclusivamente) ligado à representação do conhecimento. É com essa marca distintiva que vai chegar a Piaget: Kant fala, por exemplo, do esquema de "substância", definindo-o como a "permanência do real no tempo"; é ime-

diata a sua identificação com o esquema piagetiano da "permanência do objecto".

Não é, todavia, com aquele significado que o termo aparece em grande parte da literatura actual, particularmente naquela que utiliza o conceito de organização em sentido restrito (ou estático). Sternberg (1985b) tenta sistematizar essa panóplia de significados existente na literatura. Nesse sentido, concebe três grandes *tipos de esquemas* :

- ***Figurativos*** —são representações internas de conhecimento essencialmente estático; correspondem, mais ou menos, aos *"chuncks"* de Miller ou às *estruturas cognitivas* de Ausubel.

- ***Operativos*** —correspondem a representações internas de *funções operatórias* (Piaget, 1964) ou *regras processuais* que podem ser aplicadas a um dado conjunto de esquemas figurativos, por forma a produzirem novos esquemas desse tipo.

- ***Executivos*** —têm a ver com as *representações internas de procedimentos metacognitivos* que, em larga medida, são responsáveis por decidir quais os esquemas figurativos e operativos que o indivíduo vai activar, face a um dado problema.

Ao falarmos de organização do conhecimento, estamos muitas vezes a pensar nos primeiros — ou seja, estamos sobretudo preocupados com a perspectiva tradicional de conhecimento, a sua vertente estática. Existe, contudo, uma tendência crescente — consequência da mudança epistemológica a que temos vindo a assistir — de associar a ideia de organização não só ao conhecimento estático como também ao conhecimento dinâmico (processual). E como entre ambos existe uma sinergia total — a sua distin-

ção tem sobretudo finalidade heurística e analítica —, podemos dizer que o conceito de organização é cada vez mais associado ao conhecimento global, ao conhecimento sem qualificativos.

Após essa incursão por aspectos mais epistemológicos da organização do conhecimento, voltemos agora ao objectivo concreto que nos movia: a análise das implicações práticas da organização do conhecimento para a resolução de problemas.

Organização do Conhecimento: um Factor Distintivo na Resolução de Problemas

Os modos qualitativamente diferentes de organizar o conhecimento parecem, na verdade, ter uma influência decisiva na resolução de problemas (Chi et al., 1981; Dufresne, 1989; Gagné, E., 1985); facilitam, como diz E. Gagné, "a busca através do espaço do problema". Kramers-Pals e Pilot (1990), citando trabalhos desenvolvidos tanto no âmbito da psicologia cognitiva (ex., Chi et al., 1982 ou J. Anderson, 1982) como no campo da educação em ciências (ex., Reif, 1981 ou Kempa e Nichols, 1983), afirmam ser inquestionável que, sempre que é inadequada a forma como o conhecimento se encontra estruturado, as possibilidades de o sujeito resolver o problema diminuem consideravelmente, ainda que o mesmo sujeito possa estar de posse de outras competências adequadas.

Dufresne (1989) descreve essa influência da organização do conhecimento no processo de resolução de problemas do seguinte modo: os especialistas, baseados na sua organização mais estruturada, começam em geral um problema, focalizando a sua atenção para a sua estrutura profunda (isto é, para

os princípios e conceitos fundamentais que poderão ser aplicados à resolução); analisam, a seguir, o problema qualitativamente, baseando-se nos conceitos antes seleccionados e desenvolvendo, com frequência, um plano para a solução, antes de passarem à execução dos procedimentos planeados. Os iniciados, por sua vez, em virtude da precaridade da sua organização, tendem a focalizar a atenção na estrutura superficial do problema (por exemplo, no jargão habitual em resolução de problemas ou nos descritores materiais da situação); além disso, é frequente passarem rapidamente à aplicação de fórmulas e equações matemáticas, sem realizarem análises qualitativas sistemáticas e persistentes.

A RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS E O SUJEITO PSICOLÓGICO GLOBAL: MULTIPLICIDADE DE RECURSOS E COMPLEXIDADE DE FACTORES

2

2.1

VARIÁVEIS AFECTIVAS E MOTIVACIONAIS: UM FACTOR DE INDIVIDUALIDADE NA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

A Resolução de Problemas e a Envolvência do Sujeito Psicológico Global

Porque será que há alunos "bons" a resolver problemas enquanto outros o não são? Que características intrínsecas, se acaso elas existem, distinguem os primeiros dos outros? Numa tentativa de encontrar respostas para essas questões, os investigadores têm examinado um número de possíveis factores subjacentes e de potenciais preditores do sucesso, incluindo *variáveis afectivas,* tais como a atitude, o interesse, a motivação, a autoconfiança e o autoconceito; *variáveis sociais,* como o sexo ou o estatuto sócio-económico; e *variáveis cognitivas,* como o conhecimento (declarativo e processual), a memória, as competências cognitivas, a metacognição, o desenvolvimento cognitivo ou os estilos cognitivos (Briars, 1983; Fisher, 1990; Roth, 1990).

É assim que, para Ashmore et al. (1979), a actividade de resolução de problemas exige para já dois ingredientes básicos: *conhecimento declarativo,* ou seja, conteúdos, e *conhecimento processual,* ou seja, formas de pensamento adequadas a esses conteúdos. R. Gagné (1985) especifica um pouco

mais; para este autor, são requisitos para resolver problemas componentes psicológicas como:

- ***Competências intelectuais*** — que, na sua opinião, constituem a "estrutura básica da capacidade cognitiva do indivíduo" e que correspondem noutros autores ao conhecimento processual.

- ***Esquemas de informação verbal*** — correspondentes ao "saber que", ou seja, ao conhecimento declarativo.

- ***Estratégias cognitivas*** — que o autor associa aos "processos executivos de controlo", noção utilizada, por exemplo, por Sternberg (1985b, 1985d), e que, como veremos mais à frente, está relacionada com uma das dimensões (a processual) da metacognição. Trata-se, portanto, de uma questão de terminologia: as estratégias cognitivas de Gagné são estratégias metacognitivas para outros autores.

Fergusson-Hessler e de Jong (1991) estão, no essencial, em consonância com Gagné. Acrescentam, contudo, o conhecimento de *esquemas típicos* do domínio em causa ("problemas-tipo" ou "estratratégias-tipo"). Dão, além disso, grande ênfase à *organização* do conhecimento como factor decisivo

Os exemplos que acabámos de apresentar dirigem-se essencialmente ao domínio cognitivo do funcionamento psicológico. São, por isso, necessariamente parciais e algo redutores. Para além da vertente cognitiva, a actividade de resolução de problemas deverá, seguramente, mobilizar outras vertentes desse funcionamento. Conscientes desse facto, autores como Ausubel et al. (1978) ou Fisher (1990) alargam a gama de factores influen-

tes na resolução de problemas, englobando também variáveis de natureza sócio-afectiva. Fisher refere, nesse âmbito, o *interesse,* a *motivação* e a *autoconfiança*; quanto ao lado cognitivo, e para além do conhecimento e do pensamento, acentua a importância da *memória,* um factor actualmente bastante relevado. Ausubel, por seu lado, acrescenta, no campo cognitivo, o aspecto bastante pertinente (Neto e Almeida, 1990) da familiaridade com a *lógica da disciplina* e outros determinantes cognitivos como a *sensibilidade aos problemas* (considerada por Einstein o aspecto capital no trabalho criativo), a *originalidade* e a *curiosidade* ; no campo afectivo, alude a factores como a *persistência* ou a *flexibilidade* ; fala ainda de factores intrapessoais importantes como é o caso da *inteligência,* do *desenvolvimento cognitivo* e dos *estilos cognitivos.*

Inspirados no referencial proposto por Schoenfeld para o estudo do comportamento dos alunos na resolução de problemas, e apoiados na descrição que Brady (1991) dele faz, propomo-nos agora, numa tentativa de sistematização da multiplicidade de factores antes apresentados, construir o nosso próprio referencial.

A resolução de problemas pelo homem — se em verdadeiros problemas estivermos a pensar — é, assim, uma actividade cognitiva complexa e multifacetada que põe em acção não só capacidades e competências estritamente cognitivas, mas também capacidades e competências e disposições típicas de outros domínios psicológicos. Mobiliza, por isso, todo um leque de recursos e variáveis psicológicas a que, no contexto em que se realiza o nosso trabalho, fizemos corresponder as seguintes categorias principais:

- ***Variáveis afectivas e motivacionais***. São referidas em primeiro lugar por duas razões essenciais: por um lado, porque, como diz

Claxton (1989), a "cognição de pouco importa se se está assustado, deprimido ou aborrecido" (p. 155); por outro lado, porque, ao dar-lhe esta prioridade na discussão, queremos assumir uma postura deliberadamente dissonante do que tem sido prática corrente: ignorar ou escamotear o papel motor da vertente afectiva.

- ***Recursos cognitivos específicos***. Estão relacionados com os conteúdos, a lógica, a estrutura e os processos de resolução característicos do domínio em causa; a interacção desta categoria de recursos com a resolução de problemas será analisada especificamente para o caso da física (ou, mais propriamente, da mecânica) em capítulo especial para o efeito planeado. Esse capítulo versará sobretudo a problemática da mecânica newtoniana, por duas razões principais: primeiro, por ser ela a matéria escolar em que a nossa intervenção incidiu; segundo, porque, como teremos ocasião de ilustrar, as condicionantes de aprendizagem em mecânica constituem um indicador de certa forma representativo das condicionantes de aprendizagem da física, em geral. Como lembra Brady, o único propósito de muitos livros de texto e de muitos professores, parece ser, simplesmente, o de proporcionar aos alunos este tipo de recursos. Por nós, propomo-nos, obviamente, ir mais longe.

- ***Recursos cognitivos gerais***. Correspondem a estratégias e técnicas gerais de resolução de problemas, ou seja, a procedimentos que podem ser utilizados na resolução de qualquer problema, sem importar o conteúdo específico em jogo. Inclui-se nesta categoria o caso especial das *heurísticas,* estratégias às quais tem sido prestada significativa atenção, sobretudo em matemática, particularmente a partir da publicação, em 1945, do livro de Polya (1973) *How to*

Solve it, obra que pode muito bem ser considerada um dos grandes clássicos da resolução de problemas. Parte deste ponto foi já, em certo sentido, abordado na primeira parte deste fundamento teórico; a questão das heurísticas será, for imperativos de natureza formal, tratada mais adiante.

- ***Recursos cognitivos intrapessoais***. Inserimos nesta categoria o caso particular dos *estilos cognitivos,* como variável diferenciadora do comportamento individual, e o *desenvolvimento cognitivo* do aluno, em particular o seu nível de competência na realização do *pensamento lógico,* considerado em sentido piagetiano.

- ***Recursos metacognitivos***. São as componentes responsáveis pelo controlo e gestão de todos os recursos cognitivos, em interacção dialéctica com as variáveis afectivas e motivacionais; são conhecidas por uma diversidade de designações (metacognição, auto-regulação, automonitorização, controlo executivo, etc), designações essas nem sempre coincidentes em conteúdo ou função; trata-se de uma categoria de recursos que só ultimamente tem merecido alguma atenção (Brady, 1991; Schoenfeld, 1989), mas que, até por isso, constituirá um dos pilares desta tese.

Dimensão Afectiva e Motivacional: do Esquecimento ao Reconhecimento

Os modelos de aprendizagem da ciência escolar (por exemplo, os inspirados em Ausubel et al., 1978; Driver, 1983, 1986, 1987; Shayer, 1978; Shayer e Adey, 1981) têm, quase sempre, abordado essa questão em termos puramente ou predominantemente cognitivos. O pressuposto implícito nessas orientações é o de que as dificuldades dos alunos na aprendizagem das ciências reflectem características estruturais e funcionais ou, até, meras limitações do sistema cognitivo.

Não admira, assim, que as propostas para a superação daquelas dificuldades tenham incidido preferencialmente sobre a cognição: estruturação mais cuidada das situações de ensino, adequação das mesmas ao nível cognitivo dos alunos, diagnóstico do conhecimento pré-existente, promoção de discussões visando o conflito cognitivo e a mudança conceptual, por exemplo.

Claxton (1989) defende um ponto de vista bem diferente. Considera que os entraves à aprendizagem das ciências devem antes ser procurados no contexto mais vasto do mundo emocional, pessoal e social dos alunos. Mesmo no quadro da corrente actualmente dominante no ensino-aprendizagem das ciências (o construtivismo), é possível encontrar argumentos que suportam essa convicção.

Na verdade, analisando, por exemplo, a *teoria da construção pessoal* de Kelly (1963, 1991), fácil é concluir que, apesar de não se tratar de uma teoria declaradamente afectiva, ela comporta princípios estruturantes dessa natureza, nomeadamente de cariz motivacional. O próprio Kelly o reco-

nhece, ao admitir que a sua teoria pode ajudar a "reabrir a questão da motivação humana", dando origem a uma teoria mais abrangente do que as existentes. Estas são por Kelly (1991) criticadas nos seguintes termos:

> In our assumptive structure we do not specify, nor do we imply, that a person seeks "pleasure", that he has special "needs", that there are "rewards", or even that there are "satisfactions". (p. 48)

O motivo principal que, na opinião de Kelly, leva as pessoas a desenvolverem os seus sistemas de construtos, desenvolvimento esse que passa por uma escolha deliberada (e por isso motivada) entre sistemas por vezes contraditórios, é a sua constante tentativa de "prever e controlar" o curso dos acontecimentos.

É possível tirar conclusões idênticas, analisando as obras de Piaget ou Vygotsky, entre outras. No que diz respeito a Piaget, diremos apenas que, pese embora a orientação predominantemente cognitiva do seu trabalho — muito por impositivos metodológicos, como o refere o próprio Piaget —, é, no mínimo, injusto afirmar que se trate de um autor única e exclusivamente preocupado com a cognição. No livro *A Psicologia da Criança,* Piaget e Inhelder (1993) referem-se repetidamente à "unidade da conduta", considerando os "dois aspectos", afectivo e cognitivo, simultaneamente "inseparáveis e irredutíveis" (p. 140). Acentuam, ainda, que é precisamente "essa unidade da conduta que torna os factores de evolução comuns aos dois aspectos" e que "a sua irredutibilidade em nada exclui um paralelismo funcional" (p. 142); paralelismo funcional que é pelos autores desenvolvido para todos os estádios, com particular incidência para o período da adolescência.

De Vygotsky, diremos, por agora, que o difícil seria imaginar que o ecletismo do seu pensamento pudesse alguma vez ignorar uma dimensão psico-

lógica tão crucial como é o caso da afectividade; teremos, aliás, repetidas oportunidades de encontrar suporte para essa afirmação no decorrer do que falta da nossa fundamentação teórica.

Parece, desse modo, sobrarem-nos razões para podermos reiterar a ideia de que alguma menor relevância conferida à dimensão afectiva pela "vaga construtivista" não emerge necessariamente dos seus princípios estruturais profundos. É talvez uma questão de opção metodológica, justificada, quem sabe, por uma certa dificuldade em romper com rígidas amarras tradicionais.

Ora, como, apesar de tudo, o papel da componente afectiva está a ser cada vez mais tido em conta, parece-nos adequado introduzir nesta altura algumas breves notas ilustrativas das *transformações* que, no *último quarto de século,* se têm vindo a verificar, no que diz respeito ao estatuto que é atribuído ao aluno no campo da educação em ciências.

Segundo Head (1989), podem identificar-se nesse período, e para esse fim, três grandes fases:

1.ª Inicialmente, encarava-se o aluno-aprendiz como não-problemático, desde que as estratégias de ensino-aprendizagem e os materiais de apoio fossem criteriosamente concebidos, organizados e geridos. Era o tempo da adesão à "aprendizagem por descoberta", como paradigma a seguir. Bruner, como sabemos o principal arauto desse movimento, proferiria uma afirmação que ficou célebre e que, para muitos autores, passaria a constituir a máxima representativa dessa orientação:

> Se puede enseñar cualquier materia a cualquier niño en cualquier edad si se hace de forma honesta. (Bruner, 1989, p. 18)

Não deixa de ser curioso que essa frase tenha sido também utilizada pelos adversários da "aprendizagem por descoberta" para lhe criticarem os fundamentos e proporem esquemas alternativos. Bruner (1989) veio mais tarde esclarecer terem as suas palavras sido descontextualizadas e, desse modo, assumido um estatuto diferente do pretendido: uma proposição proferida a título de hipótese foi transformada numa verdade que ascendeu a dogma. Mas, por essa razão ou por outras, o que é verdade é que essa perspectiva educativa começou a ser fortemente contestada e a surgirem propostas alternativas.

2.ª É assim que, no início da década de setenta, se tinha já tornado claro que, afinal, não era assim tão fácil ensinar qualquer assunto em qualquer idade. Pensa-se, então, que o importante é adequar as exigências cognitivas da matéria ao desenvolvimento do aluno ou aos conhecimentos que ele já possui, sejam eles provenientes de aprendizagem espontânea, de aprendizagem sistemática ou da interacção entre ambas. A primeira proposta corrresponde à tese piagetiana (ex., Lawson, 1985; Lawson e Renner, 1975; Shayer e Adey, 1981); a segunda é representada pela orientação ausubeliana (ex., Driver, 1981, 1983, 1986, 1987; Driver e Easley, 1978; Driver e Erickson, 1983; Driver e Oldham, 1986; Novak, 1977b, 1987, 1988; Posner et al., 1982).

3.ª Actualmente, começa-se a reconhecer que as perspectivas correspondentes às duas fases anteriores não são só por si satisfatórias. O problema principal é que o aluno, muitas vezes, não gosta de ciências ou, pelo menos, não gosta da ciência que lhe é apresen-

tada na escola. Dessa forma, Head (1989) preconiza uma mudança pedagógica radical, espelhada na sua seguinte asserção:

> It is their feelings rather than their thoughts, which we need to consider. (p. 163)

Existe aliás ampla evidência (ex., Schibeci, 1984) de que muitos alunos vêem a ciência como algo remotamente afastado da sua vida quotidiana, algo que apenas interessa e é relevante para aqueles que pretendem seguir uma carreira científica; isto é, algo que muito pouco tem a ver com os seus interesses e inclinações profundos.

Hodson e Reid (1988) vão na mesma linha ao advogarem que a prioridade para o ensino das ciências seja colocada na dimensão afectiva, implicando isso uma transposição da ênfase tradicionalmente posta nos conteúdos da ciência, para uma maior relevância conferida às questões sociais. Apesar desses autores não declinarem a existência de diferenças consideráveis na capacidade dos alunos para aprender ciências, recusam aceitar que o reduzido sucesso dos alunos seja apenas e só uma questão de competência intelectual. Admitem, assim, como fundamental a dimensão afectiva, particularmente a vertente das atitudes:

> It is ou contention that the child's location on his attitudinal continuum is the key to learning. (pp. 102-103)

Opinião idêntica é partilhada por R. Miller (1980), ao afirmar que as atitudes dos alunos para com as disciplinas podem ser tão determinantes como os aspectos conceptuais; ou por Ausubel et al. (1978) quando consideram que as atitudes dos alunos para com uma disciplina produzem efeitos diferenciais importantes nos resultados da aprendizagem dessa disciplina, efeitos esses geralmente associados a correlações negativas significativas;

acrescentam, inclusivamente, que esse efeito diferencial negativo é porventura mais acentuado em disciplinas "controversas" (leia-se difíceis), como é o caso da física ou da matemática.

É por isso crescente a "importância atribuída às atitudes pela generalidade dos sistemas educativos (Trindade, 1991, p. 4) e, cumulativamente, o apoio à hipótese de que a dimensão afectiva é tão ou mais importante que a cognitiva para a aprendizagem (e, é claro, para a resolução de problemas). Cognição e afectividade são, desse modo, hoje vistas como partes distintas de uma mesma unidade funcional; é precisamente o que Resnick (1989), em baixo, nos vem lembrar:

> Motivation for learning will be empty if substantive cognitive abilities are not developed, and the cognitive abilities will remain unused if the disposition to thinking is not developed. (p. 50)

Motivação: Natureza e Mecanismos

Assumida a hipótese a que antes nos reportávamos, uma questão subsequente se coloca: a de saber levar o aluno a tomar a decisão de realizar esforços deliberados para aprender, isto é, a de saber como o ajudar a accionar os seus mecanismos de motivação. Para isso, forçoso será conhecer e compreender o modo como esses mecanismos se activam e se processam. É o que tentaremos a seguir, e sucintamente, concretizar.

A psicologia da motivação constitui um campo amplo e escassamente delimitado. Têm sido apresentadas múltiplas definições desse construto, de-

pendentes dos quadros de referência de quem as formula. A polémica (passada e presente) em torno da identificação dos factores causais da conduta motivada deu assim origem a uma diversidade de teorias (D. McClelland, 1989; Nieto, 1985).

Para os *condutivistas,* a conduta é activada e dirigida pelos reforços e pelas contingências presentes no meio. Segundo os defensores do *cognitivismo,* a conduta é activada internamente, de acordo com o significado subjectivo da situação estimuladora e é dirigida por processos cognitivos, tais como as expectativas, a procura de informação, a curiosidade ou a compreensão. Por sua vez, a *concepção humanista* da motivação (Carl Rogers, por exemplo) destaca conceitos como os de liberdade pessoal, auto-realização e auto-estima.

Como refere Nieto (1985), a motivação é usualmente definida pelos psicólogos como um *processo* que compreende a activação, a direcção e a manutenção da conduta. Para D. McClelland (1989), a motivação tem a ver com o "porquê" da conduta mas não com o "como" ou com o "quê"; mas esse autor assinala, tal como o faz Nieto, que existem várias respostas para o problema do "porquê". A motivação fornece, assim, apenas uma explicação parcial da conduta, dependendo esta também de outros factores inatos e aprendidos.

Motivação Intrínseca e Motivação Extrínseca.

Dadas as confusões que por vezes se estabelecem entre *motivação* e *interesse,* afigura-se-nos pertinente clarificar aqui a diferença. Segundo Nieto, o termo interesse refere-se a padrões de eleição entre modelos

alternativos, padrões esses que apresentam alguma regularidade e estabilidade temporal e que não parecem resultar de pressões exteriores. Interesse é, nesse sentido, um factor intrínseco que, se bem que possa activar os mecanismos motivacionais, pode também não o fazer. Isto porque, ao contrário da motivação, o interesse não pressupõe um esforço consciente, orientado para um dado objectivo

Nesse sentido, parece-nos conveniente diferenciar entre procedimentos didácticos susceptíveis de apenas potenciarem o despertar do interesse dos alunos e os que, indo mais longe, são capazes de efectivamente desencadear motivação, isto é, de imprimir uma real predisposição para aprender, através da realização das tarefas constitutivas desses procedimentos.

Pode dizer-se que o interesse corresponde a um estado psicológico e a motivação a um processo que tenta explicar alguns dos factores que activam a conduta e a orientam para o objectivo ambicionado. Esses factores podem ser *extrínsecos* (exteriores à unidade funcional sujeito-tarefa) ou *intrínsecos* (inerentes a essa unidade funcional). Cria-se, assim, a necessidade de pensar em dois tipos de motivação: *motivação intrínseca,* em que o *locus* de controlo da conduta é da ordem do sujeito; *motivação extrínseca,* em que o *locus* de controlo da conduta é da ordem do meio exterior (Cohen, 1986; Nieto, 1985).

A motivação extrínseca tem a ver com situações em que a conduta se produz com a simples finalidade de se receber uma recompensa externa, material ou não material. A motivação intrínseca, por seu lado, corresponde a situações em que objectivamente não existem ou não é possível obter nenhum tipo de recompensa externa (apenas auto-recompensa). Como diz D. McClelland, a motivação intrínseca tem a ver com as decisões das pessoas

empreenderem actividades que parecem satisfatórias em si mesmas; pressupõe incentivos intrínsecos e naturais e não incentivos ambientais.

Motivação para Aprender em Contexto Escolar

Uma das teorias sobre a motivação, que muitos autores (ex., Lee, 1991) consideram particularmente adequada ao estudo da motivação na sala de aula, é a *teoria da motivação para aprender* de Brophy (1987) — aprender em contexto escolar, entenda-se. Com efeito, o autor considera pertinente distinguir entre "motivação para aprender" (correspondente à motivação extrínseca) e motivação intrínseca propriamente dita.

Para Brophy, a motivação intrínseca não implica necessariamente motivação para aprender. Por exemplo: os alunos podem entusiasmar-se (motivar-se intrinsecamente) com a realização de um jogo didáctico, sem todavia tentarem aprender algo com ele; por outro lado, é possível tentarem (existir motivação para aprender) e conseguirem aprender o material associado a uma dada actividade escolar, sem, contudo, apreciarem, por aí além, nela participar.

Dado que a maioria das tarefas de sala de aula são impostas ao aluno, facilmente se compreende que Brophy admita estar a sua teoria da motivação para aprender em ambiente escolar em boa posição para descrever os esforços dos alunos para realizarem a sua aprendizagem nesse contexto.

Mas, de acordo com Lee (1991), essa teoria, ainda que adequada, é incompleta, na medida em que não tem em conta a natureza da disciplina a aprender. Isso leva o autor a conjugar as potencialidades da teoria com as definidas por autores que se têm debruçado sobre a "aprendizagem signifi-

cativa das ciências" (Carey, 1986; Driver, 1983; Pines e West, 1986; Posner et al., 1982).

Ao acentuar a importância da natureza de uma disciplina na motivação para aprender essa disciplina, a proposta de Lee assume especial relevância no caso da física. Na verdade, a imagem que os alunos criam desta disciplina — assunto complexo, abstracto, desligado do quotidiano — justifica que as suas especificidades sejam tidas em conta na análise do desempenho dos alunos e, sobretudo, nas atitudes destes para com ela.

Para Garrett (1989), as expectativas, crenças e convicções dos alunos acerca de uma disciplina — da natureza dessa disciplina, da sua facilidade ou dificuldade, da especificidade da sua aprendizagem, dos seus problemas e das reais capacidades desses alunos para a compreenderem e aplicarem — constituem uma das variáveis mais significativas no que respeita ao seu efeito na resolução de problemas.

Segundo o mesmo autor, muitos alunos criam a convicção de que, ao contrário deles próprios, os cientistas constroem a ciência praticamente sem esforço. Para esse estado de espírito, muito contribui a forma linear e "económica" como a matéria lhes é explicada e, sobretudo, como lhes são também explicadas as soluções dos problemas. Essa linearidade e economia de processos e palavras levam os alunos à crença de que problema que não se resolve "à primeira" é problema "irresolúvel"; quaisquer esforços suplementares são para eles esforços em vão.

Motivação e Resolução de Problemas

A diversidade de estudos sobre motivação[9] tem sublinhado a tese de que uma aprendizagem mais efectiva pressupõe a mudança do *locus* de controlo do domínio do professor para o do aluno, tese que está, aliás, em perfeita sintonia com o paradigma construtivista (ver notas precedentes a propósito do construtivismo kantiano). Porém, isso não implica que fiquem, dessa maneira, cerceadas as possibilidades do professor intervir.

Nessa perspectiva, Hodson e Reid (1988) proclamam a necessidade imperiosa de se combater o que pensam ser a "postura determinística" instalada em muitos agentes educativos, a qual enraíza na aceitação acrítica de que o insucesso académico é explicado por factores que escapam a essa capacidade de intervenção do professor. É claro que, quando tal acontece, rapidamente esses factores se tornam explicações só por si suficientes e, por isso, desincentivadoras da procura de outras causas para o insucesso dos alunos. Ao professor competirá sempre um papel decisivo, ainda que tal papel se resuma ao fornecimento de "incentivos motivantes" (Tobias e Kaufman, 1991).

Quem tem, todavia, a última palavra é o aluno; é ele que toma a decisão final quanto à sua própria motivação. E não parece existir homogeneidade nas formas características que os alunos têm para tomar e implementar essas decisões, ou seja, para se motivarem.

Adar (citado por Martin Díaz e Kempa, 1991), ao estudar os diferentes motivos ou necessidades que orientam os alunos na sua aprendizagem,

---

[9] Por exemplo, os que têm sido conduzidos na esfera da *teoria da atribuição* de Weiner (ver Cohen, 1986) ou os que adoptam a teoria mais global do *locus de controlo* .

identificou quatro categorias fundamentais: *necessidade de obter êxito, necessidade de cumprir obrigações, necessidade de satisfazer a própria curiosidade* e *necessidade de se relacionar com os outros*. Estas formas de motivação são entidades ideais: num mesmo aluno podem coexistir vários motivos a orientar a sua aprendizagem.

Tendo em conta o predomínio de algum desses motivos puros, Adar tipificou quatro *padrões* ou *estilos motivacionais* : alunos cujo móbil principal é o sucesso escolar, alunos curiosos, alunos conscienciosos e alunos socialmente motivados (aqueles que preferem actividades em grupo e não se importam de ser avaliados pelos colegas).

Hofstein e Kempa (1985), apoiando-se no modelo de Adar, admitem a hipótese de cada estilo de aluno poder revelar preferência por um método didáctico diferente. Constroem um modelo teórico em que tentam associar a cada estilo os diferentes métodos de ensino-aprendizagem das ciências que potencialmente melhor se combinam com esse estilo.

Numa tentativa de validação experimental desse modelo, Martín Díaz e Kempa (1991) chegam à conclusão que os alunos tendem, de facto, a preferir aqueles procedimentos didácticos que vão ao encontro das suas necessidades motivacionais e a rejeitar os que são delas dissonantes. Confirmaram, por exemplo, a maior preferência (prevista pelo modelo) dos alunos "curiosos" por actividades assentes na resolução de problemas.

Quer dizer: se, de um ponto de vista cognitivo, é preciso ter em conta as ideias prévias dos alunos, de um ponto de vista afectivo é necessário considerar os seus padrões motivacionais, como características intrínsecas que são e que se traduzem em diferentes preferências por estratégias de ensino diversas.

Nessa perspectiva, ao contrário do que muitas vezes se pensa, as qualidades motivantes de uma determinada estratégia não são uma função intrínseca dela própria; são, sim, fruto da interacção dessa mesma estratégia com as características individuais dos alunos; estas podem ser representadas pelos padrões ou estilos motivacionais que acabámos de descrever, mas também por outras componentes fundamentais da individualidade, como é o caso dos estilos cognitivos que abordaremos mais à frente.

Um aspecto importante a ter ainda em conta na relação da motivação com a resolução de problemas é a questão da *ansiedade* dos alunos perante a tarefa. Segundo refere Nieto (1985), as relações da ansiedade com o rendimento escolar têm sido alvo de muitas investigações, destinadas a determinar se a situação de ansiedade se configura como facilitadora ou inibidora da aprendizagem. Obtiveram-se resultados contraditórios, ainda que, como seria de esperar, a maioria deles aponte para a existência de correlação negativa entre a ansiedade e o rendimento escolar.

Pensamos que neste ponto reside um dos grandes "problemas da resolução de problemas" de física. Já referimos que a maior parte dos alunos manifesta em relação à disciplina uma atitude desfavorável; julgam-na difícil e quase só acessível aos colegas mais brilhantes. Compreensivelmente, a situação ainda mais se agrava, quando passamos para o âmbito da resolução de problemas. Os alunos quase sempre os julgam complexos e não compatíveis com as suas reais competências e aptidões. Cria-se, assim, uma situação de rejeição deliberada da actividade ou um estado de ansiedade perturbador do bom funcionamento dos mecanismos motivacionais.

2.2

ESTILOS COGNITIVOS : UM OUTRO FACTOR DE INDIVIDUALIDADE NA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

Não há, não,
Duas folhas iguais em toda a criação.
Ou nervura a menos, ou célula a mais,
não há, de certeza, duas folhas iguais.

— *António Gedeão*

Da Homogeneidade à Diferenciação Psicológica: o Despontar dos Estilos Cognitivos

Wilhelm Wundt (citado por Weinert, 1987) afirmou um dia que não existe uma única lei psicológica que não admita mais excepções do que confirmações. A sua afirmação não se revelaria, no entanto, suficiente para encorajar, na altura, o desenvolvimento de uma psicologia das diferenças individuais. Durante muito tempo, o objectivo da psicologia foi, na verdade, o de formular leis gerais de aprendizagem, válidas para todos os seres humanos e até (caso do condutivismo) para todos os animais superiores.

Contudo, mesmo o condutivista mais ortodoxo terá sido forçado a admitir que as pessoas diferem na forma e na capacidade de aprender. É assim que, pouco a pouco, os psicólogos acabaram por ir reconhecendo a importância e a pertinência da diversidade psicológica individual.

Entre as características que passaram a ser utilizadas para explicar essa diversidade podem mencionar-se factores como o conhecimento, a memória, a inteligência, a motivação ou a personalidade. Assumiu-se, muitas vezes, que o melhor desempenho dos mais velhos era devido a um mais rico repertório de conhecimentos específicos ou a níveis mais elevados de inteligência ou de outras competências intelectuais. Como o fazem notar Kagan et al. (1964), esta suposição é intuitivamente apelativa e é, aliás, verificada empiricamente.

Não surpreende, por isso, que os psicólogos não tenham, no início, colocado seriamente a hipótese de que outros factores pudessem contribuir para explicar as diferenças individuais. A situação iria, no entanto, mudar a partir da altura em que os *estilos cognitivos* passaram a ser vistos como uma variável psicológica apropriada ao estudo da diferenciação psicológica. Tratava-se de uma variável que tinha a ver não tanto com conhecimentos específicos, nível de inteligência ou de competência cognitiva (como até aí acontecia), mas mais com os modos de pensamento consistentes e, até certo ponto, estáveis que cada pessoa utiliza na sua tentativa de aprender e resolver problemas.

A importância e a pertinência dessa variável psicológica estão bem patentes na citação que em baixo se transcreve:

> Twenty-five years ago, as an undergraduate and graduate student in Biology, I was introduced to the virtues of "scientific method". Impressed on me was the need for caution, objectivity, meticulous data collection, and so on, the implications being that "scientific method" was the method of choice in approaching all problems, biological or otherwise. At the same time, I developed an attitude of disdain towards the "wooly-minded" thinking to be found, I was told, amongst arts students and other lesser breeds. In the intervening years, however, I have learned, or at least have como to believe, that the objective-analytical way of thinking, which I held so dear, is actually only one aspect of scientific thought,

> one that may not be appropriate in dealing with all problems. Indeed, exclusive concern with such a strategy can lead to disastrous consequences. This reminiscence is, I would have thought, so commonplace as to hardly merit attention were it not for the unfortunate fact that history repeats itself. As a university teacher, now in Psychology, I see the same process of indoctrination ocurring, not only in my own department, but also in the various science and professional schools on campus. Thus, rather than ecouraging students to develop a repertoire of cognitive styles, and an understanding of how to deploy such styles appropriately, the hegemony of objective-analytical thinking appears to remain inviolate . (Miller, A., 1985, p. 21)

Esta citação constitui uma crítica contundente à homogeneização e igualização, representadas, neste caso, pela dominância absoluta do pensamento objectivo-analítico, dominância essa que, como o autor salienta, permanece "inviolável" no mundo da educação. Ela traduz também o reconhecimento de que cada aluno tem o seu próprio estilo de aprender e pensar e o direito a que a escola o reconheça e proceda em conformidade, de modo a capitalizar ao máximo as potencialidades pessoais desse aluno.

A investigação sobre estilos cognitivos teve a sua origem (ou, pelo menos, o seu impulso decisivo) no movimento *New Look,* lançado no campo dos estudos da percepção. Ficou célebre o título de um trabalho apresentado por Klein e Schlesinger (citados por Witkin e Goodenough, 1991) no Simpósio fundador daquele movimento. Esse título era o seguinte: *Where is the perceiver in perceptual theory?* ("Onde está o que percebe na teoria da percepção?"). Este título, só por si, diz bem do descontentamento sentido pelos fundadores do movimento face ao reduzido papel que as teorias então em voga conferiam ao sujeito no acto da percepção.

A preocupação com as diferenças individuais passava, assim, a ser um dos alvos da psicologia, inicialmente com maior incidência no campo da percepção, mas alastrando rapidamente a outros domínios. Daí nasceria, tam-

bém, a *teoria da diferenciação psicológica* — proposta em 1962 por Witkin e seus colaboradores (Witkin e Goodenough, 1991) —, uma das primeiras teorias a encarar esta problemática de frente.

Essa teoria acabaria por ser o grande referencial teórico que orientou e inspirou os estudos sobre os estilos cognitivos, inicialmente representados pela já clássica dimensão *dependência-independência* de campo, considerada por Witkin e Goodenough (1991) uma expressão da diferenciação psicológica. A teorização sobre a dependência-independência de campo, em particular, e sobre os estilos cognitivos, em geral, viria a ser progressivamente modificada, na sequência de investigações posteriores de Witkin, e em resultado da profusão de estudos que a sua obra veio a originar.

O Estilo Dependência-Independência de Campo: Pioneiro e Representativo

Entre todos os estilos cognitivos até à data identificados, este é o que tem sido mais exaustivamente estudado e o que tem tido maior aplicação no contexto educacional (Kogan e Saarni, 1989; Witkin, 1978; Witkin e Goodenough, 1991)[10].

O estilo *dependência-independência de campo* tinha inicialmente a ver com os modos de perceber relações parte-todo. No caso da percepção "dependente de campo", verifica-se relativa incapacidade por parte do sujeito de abstrair as partes do seu contexto global (o todo prevalece sobre as partes); em contraste, a percepção "independente de campo" é caracterizada

[10] Ver, ainda, Vernon (1972) ou Witkin et al. (1977a, 1977b), para interessantes sínteses.

por uma relativa facilidade de o sujeito abstrair as partes do contexto global (o todo não abafa as partes).

Apesar de esta dimensão ter tido origem no campo da percepção espacial e ser, nesse sentido, anterior ao próprio conceito de estilo cognitivo, trabalhos posteriores vieram mostrar que esse tipo de diferenciação psicológica possuía um domínio de aplicabilidade mais vasto. Verificou-se, com efeito, que ela se faz sentir noutras áreas da cognição (como a resolução de problemas) e mesmo noutros domínios psicológicos como é o caso da personalidade e do comportamento social (Witkin e Goodenough, 1991).

O que estava, assim, em jogo era uma abordagem cognitiva característica que cada pessoa traz para uma ampla variedade de tarefas e não só para tarefas perceptivas. Face a essa constatação, Witkin e o seu grupo identificaram essa abordagem com o "estilo" dessa pessoa. E como esse estilo abrangia quer actividades perceptivas quer outras actividades cognitivas, qualificaram-no de "cognitivo" (Witkin et al, 1977a). Assim nasceria o construto *estilo cognitivo,* algum tempo depois, como dissemos, do construto *dependência-independência de campo.*

Esse facto histórico ajuda a compreender as razões que terão levado Witkin a pretender diferenciar claramente os dois construtos em termos da literatura. Para isso, procurou influenciar os outros investigadores no sentido de a designação dependência-independência de campo ficar reservada para a esfera restrita da percepção. Além disso, propôs que para referenciar a dimensão mais abrangente (aplicável a toda a cognição) se utilizassem as expressões "estilo global ou sintético-estilo estruturado ou analítico" (Witkin, 1978). O autor estava convicto de que, para além da reposição da verdade histórica, essa proposta ajudaria a evitar equívocos e ambiguidades que o

uso indiscriminado da expressão dependência-independência de campo entretanto viera a originar. Pese embora essa pretensão de Witkin, o certo é que foi a designação dependência-independência de campo que acabou por vingar na literatura. É com esse significado que a esse estilo nos passaremos a referir.

Uma questão importante e, em certa medida, controversa prende-se com a *estabilidade* dos estilos cognitivos. Nos seus artigos iniciais, Witkin et al. (1977a, 1977b) afirmavam que o estilo dependência-independência de campo tende a ser estável, tanto ao longo do tempo, como através de diferentes contextos e tarefas (Kogan e Saarni, 1989; Witkin, 1978). A versão da teoria apresentada por Witkin e Goodenough (1991) em 1981 admite já, porém, que possa haver *certa mobilidade* de estilo para alguns indivíduos, permanecendo outros "fixos", ou seja, com estilo absolutamente estável.

Como grupo, as crianças mais jovens tenderiam a ser mais dependentes do que as mais velhas. Com a idade, verificar-se-ia uma tendência de a média do grupo se deslocar para o pólo da independência de campo. No entanto, apesar disso, cada criança tenderia a manter, ao longo do seu desenvolvimento ontogénico, a mesma posição relativa no eixo dependência-independência. O nível máximo de desenvolvimento nunca corresponderá a uma independência pura, mas a uma integração de propriedades dependentes e independentes, num único estilo que congrega as vantagens de ambos.

Outros Estilos Cognitivos

Tem havido alguma *discordância* entre os investigadores no que se refere a uma *definição operacional* deste conceito — discordância essa já ilustrada

no que diz respeito ao caso específico da dependência-independência de campo. Wardell e Royce (1977) falam mesmo de uma certa "fraqueza conceptual" que, no seu entender, tem como causa "a proliferação e confusão" de concepções e interpretações de estilo cognitivo.

Não admira, por isso, que este conceito tenha sido empregue pelos investigadores para se referirem a aspectos distintos do processamento psicológico e tenha sido abordado segundo perspectivas as mais diferenciadas (Witkin e Goodenough, 1991). Kogan e Saarni (1989), por exemplo, identificaram várias dimensões importantes do estilo cognitivo: *dependência-independência de campo, complexidade-simplicidade cognitiva, reflexividade-impulsividade, controlo constrangido-controlo flexível,* etc; Messer (1970), por outro lado, inventariou dezoito dimensões distintas numa revisão exaustiva de literatura por si realizada.

Os estilos cognitivos podem, assim, ser caracterizados e analisados segundo perspectivas diferenciadas, às quais correspondem quase sempre estilos diversos (Coop e Siegel, 1971). Para Messick (1982), apesar de distintas, essas concepções apresentam zonas de sobreposição, não sendo, por isso, mutuamente exclusivas ou dicotómicas. Dentre as concepções identificadas por esse autor, merecem ênfase especial as seguintes:

1. Uma que descreve os estilos cognitivos como *propriedades estruturais do sistema cognitivo.* Nesta acepção, os estilos referem-se a diferenças individuais consistentes nas propriedades das estruturas cognitivas; a essas diferenças alguns investigadores fazem corresponder o estilo *complexidade cognitiva-simplicidade cognitiva.* Nele se incluem: por um lado, indivíduos que preferem a diversidade e situações de processamento de informação dissonante; por

outro lado, indivíduos que preferem a regularidade e a uniformidade e que, ao contrário dos anteriores, se sentem mais confiantes e seguros em tarefas que impliquem processamento consonante .

2. Uma segunda concepção que encara os estilos cognitivos como *modos típicos e autoconsistentes de perceber, relembrar, pensar e resolver problemas.* O exemplo mais importante desta categoria é, precisamente, a *dependência-independência de campo.*

3. Uma terceira que descreve os estilos cognitivos como *preferências cognitivas,* ou seja, como formas características segundo as quais as pessoas preferem conceptualizar e organizar os estímulos do mundo real (por exemplo, preferências individuais consistentes por categorizações latas *versus* categorizações restritas).

4. Uma quarta em que os estilos são concebidos em função de *atitudes típicas* evidenciadas nos processos de tomar decisões (por exemplo, *reflexividade-impulsividade*).

5. Finalmente, uma quinta em que os estilos são pensados como consequências cognitivas de determinadas *tendências de personalidade* (por exemplo, tolerância *versus* ansiedade perante o erro).

Estilos cognitivos e estilos de aprendizagem. A acrescentar à multiplicidade de concepções que aparecem associadas aos estilos cognitivos, uma dificuldade suplementar vem contribuir para reforçar a confusão: a que tem a ver com a distinção entre *estilos cognitivos* e *estilos de aprendizagem.* Enquanto para uns autores essas duas designações acabam por ser equivalentes e, por isso, permutáveis, para outros tal equivalência não se

verifica, por lhes corresponderem domínios de aplicabilidade radicalmente diferentes.

É assim que, para Schmeck (1983, 1988), os *estilos de aprendizagem* dos alunos não passam de manifestações exteriores dos estilos cognitivos, por eles evidenciadas quando confrontados com uma tarefa problemática. Surgem na tentativa de superar as dificuldades impostas pelos estilos cognitivos em termos de definição operacional e de medição; a sua génese parece, pois, relevar de alguma preocupação com o observável, a que não será porventura alheia uma certa influência da corrente behaviorista.

Adoptando essa concepção de estilo de aprendizagem, será mais fácil evitar confusões semânticas entre entidades distintas: uma, os *estilos cognitivos,* que estão ligados aos modos internos e profundos de processar informação; outra, os *estilos de aprendizagem* que acabam por ser procedimentos externos que podem, de alguma maneira, exercer influência na forma como esses modos de processar informação se activam e se mantêm.

Um exemplo típico da situação a que antes aludíamos é a que ocorre com os estilos de aprendizagem de Dunn e Dunn (Dunn, R., 1990; Dunn, Beaudry e Klavas, 1989; Dunn, Dunn e Price, 1987). Claramente enquadráveis na definição que antes deixámos expressa de estilo de aprendizagem, são referenciados por muitos autores como estilos cognitivos. Referenciação para nós indevida, uma vez que os comportamentos a eles associados são mais estratégias ou hábitos de estudo do que formas de cognição (no sentido intrínseco).

Estilos Cognitivos, Competências e Estratégias Cognitivas

A diferenciação entre estilos cognitivos e competências cognitivas gerais tem conduzido a alguns debates e fortes controvérsias (Satterly, 1979; Vernon, 1972; Wardell e Royce, 1977). A. Miller (1987) considera, mesmo, ser esse um problema espinhoso com que se confronta a literatura da especialidade. Uma das linhas de pensamento defende que é improvável que os estilos sejam distintos das competências; a outra linha de pensamento advoga uma total independência entre ambos. Neste último caso, o estudo dos estilos cognitivos iria complementar o das competências; no primeiro caso, tais estudos seriam simplesmente redundantes (Federico e Landis, 1984).

A maioria dos autores parece, todavia, inclinar-se para a diferenciação. Para Messick (1982), por exemplo, os estilos cognitivos diferem das competências em múltiplos e importantes aspectos:

- As *competências* têm essencialmente a ver com o *conteúdo* e com o nível da cognição; os *estilos,* por seu lado, têm a ver com o *processo* e com a forma e a qualidade da cognição (Witkin et al., 1977a).

- As *competências* são fundamentalmente *unipolares,* o que faz com que sejam axiologicamente direccionadas; os *estilos,* pelo contrário, são *bipolares* e axiologicamente neutros — a valoração de cada pólo depende da situação e da tarefa em mãos; um determinado pólo tem qualidades adaptativas em circunstâncias específicas que o pólo oposto, nessas circunstâncias, não apresenta (Witkin e Goodenough, 1991):

> The concept of cognitive style does not imply that there are two types of people: field dependent or field independent. Scores on any test of this dimension form a continuous distribution, and as with a characteristic such as height, a person's standing on the dimension is defined relative to the mean. (Witkin, 1978, p. 43)

No entanto, apesar das declarações em contrário de autores como Witkin et al. (1977a, 1977b) ou Kagan et al. (1964), Satterly e Bimmer (1971) afirmam que quase sempre, de forma implícita ou explícita, o estilo analítico (ou independente de campo) acaba por aparecer na literatura como o modo superior de desempenho. Relativamente ao estilo sintético, são frequentemente ignoradas as características que o tornam particularmente adaptativo em diversas situações — por exemplo, em situações de resposta rápida e global. O sujeito tipicamente global tem sido descrito como "passivo", "ineficaz a resolver problemas que requeiram o isolamento de elementos essenciais" e como tendo um mundo perceptivo "difuso" e "dominado pelo contexto global". A esses qualificativos subjazem juízos obviamente desfavoráveis (A. Miller, 1985).

- As *competências* são limitadas no que se refere ao domínio de aplicabilidade; são *específicas de determinadas áreas de conteúdos.* Os *estilos,* por sua vez, são dimensões *penetrantes,* as quais perpassam as fronteiras que tradicionalmente são usadas para compartimentar a mente humana. Ajudam assim a restituir à mente o seu estatuto próprio como entidade holística.

Por outro lado, é importante distinguir os *estilos cognitivos* das *estratégias cognitivas.* Os estilos cognitivos, tal como são usualmente concebidos, são espontaneamente utilizados numa ampla variedade de situações, de forma

inconsciente e automática; as estratégias cognitivas, por seu lado, reflectem decisões tomadas consciente ou inconscientemente e são dependentes de cada situação particular (Messick, 1982).

Em comparação com os estilos, as estratégias são mais susceptíveis de mudança com o treino. É assim possível as pessoas aprenderem estratégias eficientes de resolução de problemas em sintonia com os seus estilos cognitivos e aprenderem, até, a derivar para estratégias que, sendo menos compatíveis com os seus estilos, se revelam, todavia, mais adequadas a determinadas tarefas (Messick, 1978, 1982).

Quer dizer: os estilos parecem actuar como "heurísticas de nível elevado" — ou "meta-estratégias" (A. Miller, 1987) — que seleccionam, organizam e controlam estratégias e operações mais específicas e, até, competências, em processos complexos como a aprendizagem ou a resolução de problemas (Messick, 1982). Funcionam, em parte, como mecanismos de controlo que determinam as diferenças individuais na regulação da atenção, do pensamento e de outras dimensões psicológicas como a sócio-afectividade. Interpretados desta maneira, poder-se-ia afirmar serem os estilos cognitivos um subdomínio da metacognição; mas essa será uma questão para a qual só mais à frente poderemos fornecer suporte argumentativo.

A Necessidade de Estilos Integradores: os Estilos Epistémicos como Possível Resposta

A designação "estilos cognitivos" parece, à primeira vista, apontar para uma relação exclusiva dessa dimensão com os aspectos da cognição. Todavia, e como já referimos noutro local, se é verdade que, inicialmente, os estilos cognitivos estavam sobretudo ligados à percepção e à cognição, à medida que a investigação foi prosseguindo, veio a comprovar-se a ligação desse construto também a outras dimensões do funcionamento global humano, sem esquecer a vertente da personalidade e o comportamento social (Wardell e Royce, 1977). Mantendo-se a designação por meras razões históricas, hoje atribui-se, assim, uma maior gama de aplicabilidade aos estilos cognitivos. Messick (1978) descreve-os como "manifestações cognitivas da personalidade", vincando bem a sua relação com essa mesma personalidade.

Nessa perspectiva, os estilos proporcionam uma descrição completa e global da pessoa, muito distinta da interpretação atomista representada pelo modelo dos rasgos, os quais careciam da generalidade e da estabilidade transtemporal e trans-situacional que, teórica e empiricamente, são atribuídas aos estilos (Witkin e Goodenough, 1991).

Wardell e Royce (1977) deixam bem marcada essa relação dos estilos com o todo psicológico, ao adoptarem uma definição que entende o estilo como "um modo ou uma forma característicos de realizar os fenómenos cognitivos e/ou afectivos". Na sua conceptualização, aqueles dois autores começam por subdividir o *sistema psicológico global* em subsistemas de análise, funcionando os estilos como um deles, sendo os outros os subsistemas sen-

sorial, motor, cognitivo, afectivo e axiológico. A seguir, por análise factorial, classificam os estilos já identificados em cognitivos, afectivos e cognitivo-afectivos, dependendo a categorização, respectivamente, da sua associação com competências cognitivas, com variáveis afectivas ou com ambas.

Por outro lado, com a finalidade de conferir alguma unidade conceptual e estrutural ao campo, propõem uma teoria hierárquica multifactorial, composta por três grandes estilos gerais — *estilo racional, estilo empírico e estilo metafórico* — que correspondem a três sub-hierarquias de estilos de ordem inferior . Admitem a hipótese de que esses três estilos gerais, ou *estilos epistémicos,* correspondem a três formas distintas sob as quais os processos cognitivos e afectivos poderiam conjugar as suas acções:

> These three "general styles", identified as rational, empirical and methaphoric, are presumed to reflect three different ways in which cognition, and affect are integrated. (Wardell e Royce, 1978, p. 476)

Os estilos epistémicos são, assim, variáveis integradoras de outras muitas, dando conta da conduta global do indivíduo, tanto nos aspectos cognitivos como não cognitivos. Esses estilos são assim descritos por Wardel e Royce:

- ***Estilo racional.*** O indivíduo cuja actividade epistémica (forma como constrói a realidade) for dominantemente influenciada pelo estilo racional tenderá a testar a validade dos seus construtos com base na consistência lógica dos mesmos. Os principais processos cognitivos subjacentes envolvem raciocínio claro e preciso, análise lógica racional e síntese de ideias. Serão, em princípio, indivíduos com forte capacidade de pensamento lógico-formal.

- ***Estilo empírico***. O indivíduo cuja actividade epistémica estiver essencialmente determinada pelo estilo empírico tenderá a validar os seus construtos com base na observação e na experiência. Os principais processos cognitivos subjacentes envolvem a percepção sensorial activa e a procura de experiências sensoriais externas.

- ***Estilo metafórico***. O indivíduo cuja actividade epistémica for influenciada pelo estilo metafórico terá tendência a validar os seus construtos com base na intuição, na originalidade e na criatividade. Os principais processos cognitivos subjacentes a essa forma de actuação são de natureza simbólica, e incluem tanto aspectos conscientes como inconscientes.

No que diz respeito à relação entre os estilos epistémicos e as competências cognitivas, Wardel e Royce admitiram como bastante plausível a seguinte hipótese: o estilo racional estará provavelmente correlacionado com as competências conceptuais, o estilo empírico com competências mais perceptivas e o estilo metafórico com competências simbólicas. Esta hipótese foi posteriormente comprovada por Federico e Landis (1984) em estudos experimentais por si realizados, estudos esses apoiados teórica e metodologicamente no modelo de Wardell e Royce.

Implicações Educacionais dos Estilos Cognitivos

De Âmbito Geral

Um número considerável de autores tem-se debruçado sobre as implicações educativas do estilo cognitivo, em geral, e da dependência-independência de campo, em particular (Davis e Cochrank, 1989; Witkin e Goodenough, 1991; Witkin et al., 1977a).

Witkin et al. (1977a, 1977b; Witkin, 1978) são de opinião que a evidência substancial já acumulada permite afirmar claramente que, pelo menos nalguns casos, os estilos influenciam o modo como os alunos aprendem, como os professores ensinam, como uns e outros interactuam e, inclusivamente, como são feitas as opções educacionais e vocacionais. Isso é particularmente verdade para a dependência de campo. Conclusões idênticas foram recolhidas e reportadas por Dunn, Beaudry e Klavas (1989) para o caso muito especial dos estilos de aprendizagem.

Mas tendo em conta essas conclusões positivas quanto à ampla gama de benefícios pedagógicos que poderiam advir se a prática educativa capitalizasse as potencialidades inerentes aos estilos próprios de cada aluno, como explicar então a reduzida influência que eles têm tido nessa mesma prática educativa? Uma das razões tem a ver com a natureza dos instrumentos de medição dos estilos e a sua forma de aplicação. Os testes típicos de estilos cognitivos exigem aplicação individual — ao contrário, os de competências (por exemplo, de inteligência), por serem do tipo papel-e-lápis, permitem administrações colectivas.

Uma outra razão, talvez determinante, é que o problema da harmonização entre os estilos dos alunos, por um lado, e os métodos didácticos, os estilos do professor, os condicionamentos ambientais ou a combinação entre todos eles, por outro, é, como bem se compreende, uma questão pedagógica e tecnicamente complicada (Messick, 1982).

Apesar desses obstáculos, é possível, contudo, fazer qualquer coisa em prol da referida harmonização. A ideia, tornada plausível pelo senso comum e pela experiência, de que determinados professores têm maior sucesso com alguns alunos do que com outros, é disso prova evidente. Os professores podem, na verdade, ter maior sucesso com alunos de estilos semelhantes, e os alunos podem aprender de forma mais efectiva quando ensinados por professores cujos estilos se combinem com os seus próprios estilos (Messick, 1982; Witkin, 1978; Witkin et al., 1977a).

Parece, assim, valer a pena consciencializar os professores nesse sentido. Para o demonstrar, Doebler e Eicke (1979) realizaram um estudo em que pretendiam analisar o efeito que teria nas interacções na sala de aula uma tomada de consciência prévia dos professores acerca das implicações educacionais derivadas da existência de estilos (dependência-independência de campo, neste caso), quer em alunos quer em professores. Verificaram que nas turmas de professores do grupo experimental, professores esses que haviam tido um seminário extensivo sobre a problemática dos estilos e haviam tomado conhecimento do seu próprio estilo e dos estilos dos seus alunos, os resultados por estes obtidos em pós-testes de autoconceito e de atitudes para com a escola eram significativamente superiores aos obtidos por alunos de turmas de controlo, alunos cujos professores não tinham tido qualquer informação ou formação prévias nesse âmbito.

Nessas circunstâncias, pareceria boa ideia harmonizar estilos de alunos e professores. Para além da dificuldade prática e funcional dessa ideia — e da sua idealidade manifesta —, Witkin et al (1977a, 1977b) admitem a possibilidade de daí poderem também advir efeitos perniciosos. Na verdade, para determinados tipos de aprendizagem, a diferença entre os estilos dos alunos e o estilo do professor pode provar ser mais estimulante do que a semelhança; a heterogeneidade conduz a uma maior diversidade de pontos de vista, podendo assim contribuir para uma maior dinâmica na aula.

De Âmbito Específico.

O estilo dependência-independência de campo não apresenta correlação significativa com medidas globais de rendimento académico (classificações finais de curso, por exemplo). Contudo, numerosos estudos têm identificado correlação entre o estilo cognitivo e o desempenho dos alunos em áreas específicas (Witkin et al., 1977a, 1977b).

Numa grande maioria dos numerosos estudos levados a cabo com alunos universitários, verificou-se, com efeito, que os alunos independentes de campo obtinham rendimento significativamente melhor do que os dependentes de campo, em áreas como matemática, ciências físicas e naturais ou engenharia; ou seja, em áreas que requerem níveis elevados de reestruturação cognitiva e se caracterizam por uma menor ligação à vertente social (Kagan et al., 1964; Witkin e Goodenough, 1991).

Estudos deste tipo têm sido muito menos frequentes com alunos do ensino básico e secundário. Mas mesmo aí, ou se obtiveram nessas áreas resultados significativamente favoráveis aos independentes de campo ou, quando

não se observava correlação significativa, as tendências iam no sentido esperado, ou seja, no sentido de melhores desempenhos para os independentes de campo. Em contrapartida, verificava-se um relativo maior sucesso dos dependentes de campo nas áreas de ciências sociais e humanas, isto é, em áreas menos estruturadas e com fortes ligações sociais[11].

Witkin et al. (1977a) consideram, no entanto, ser conveniente uma "palavra de prudência" contra a tentação de se pensar que essa melhor realização dos independentes de campo nas referidas áreas seja uma espécie de "dádiva" de que os mesmos estão dotados. Tem sido de facto observado repetidas vezes que os alunos independentes de campo obtêm melhores resultados em matemática e ciências. Todavia, a essa constatação há, no entender daqueles autores, que juntar a seguinte ressalva: "tendo em conta a forma corrente como essas disciplinas são ensinadas. É possível que outros métodos — e até outros professores — possam ajudar os dependentes de campo a obter melhores desempenhos nessas disciplinas do que actualmente acontece:

> For the educator, the development of a greater diversity in behaviors within individuals seems as important an objective as the recognition and the utilization of diversity among individuals. (Witkin et al., 1977a, p. 53)

No que diz respeito à relação dos estilos com a resolução de problemas, não são abundantes na literatura referências a estudos que se tenham especificamente debruçado sobre esse aspecto. A grande maioria das investigações na área da resolução de problemas têm, na verdade, enfatizado prefe-

[11] Curiosamente, não só o rendimento dos alunos independentes de campo era maior nas áreas de ciências, como também, no caso de lhes ser possível optar, era por elas que esse tipo de alunos se decidia, ao contrário dos dependentes que tendiam a evitá-las (Witkin, 1978).

rencialmente duas componentes: o conhecimento específico e as estratégias de resolução.

Nessas condições, Ronning, McCurdy e Ballinger (1984) são de opinião que qualquer teoria sobre a resolução de problemas que considere apenas esses dois aspectos será necessariamente incompleta. Qualquer teoria completa e viável deve integrar uma "terceira componente": as características individuais dos sujeitos, bem representadas, a seu ver, nos estilos cognitivos.

Garrett (1989, considerando bastante importante essa inclusão dos estilos na conceptualização da resolução de problemas, confirma também, numa importante e extensiva revisão de literatura, ser escasso o número de estudos que têm tentado explorar a relação dos estilos cognitivos com a resolução de problemas. Os estilos ainda assim mais utilizados eram a dependência-independência de campo e, em menor grau, a reflexividade-impulsividade.

Harris (citado por Witkin et al., 1977a), verificou que os sujeitos tipicamente independentes de campo eram os que mais facilmente superavam os constrangimentos impostos pelos contextos presentes em alguns dos clássicos problemas utilizados por Duncker nas suas investigações sobre a rigidez funcional. Ronning et al. (1984) observaram experimentalmente esse melhor rendimento dos alunos independentes de campo em resolução de problemas. Poder-se-á inferir daí que a independência de campo equivale a uma maior flexibilidade de pensamento, equivalendo a dependência de campo a uma maior rigidez cognitiva, hipótese admitida por Witkin e posteriormente validada experimentalmente por diversos estudos (Witkin e Goodenough, 1991).

Além disso, segundo Witkin e Goodenough (1991), o indivíduo dependente do campo é muito provável que venha a sentir dificuldades com aquelas categorias de problemas cuja resolução implique o isolamento de algum elemento crítico do contexto global e a reestruturação do material por forma a que esse elemento possa ser agora utilizado noutro contexto. Em particular, esses indivíduos poderão revelar alguma incapacidade em distinguir no enunciado a informação relevante da irrelevante ou acessória.

Mas, segundo o fazem notar também Witkin e Goodenough, é só nesses problemas que as pessoas dependentes podem comparativamente experimentar mais dificuldades. Os dependentes e os independentes não actuam de forma significativamente diferente noutros tipos de tarefas problemáticas. Comportam-se de forma idêntica, por exemplo em tarefas que exigem competência verbal, como é o caso de muitos testes de inteligência padronizados.

Um outro estilo já razoavelmente estudado na sua relação com a resolução de problemas é, como já dissemos, o estilo reflexividade-impulsividade. Este estilo descreve em que medida um indivíduo suspende ou não a resposta no curso da procura da alternativa correcta, num contexto de incerteza ou dificuldade. Kogan e Saarni (1989) referem trabalhos em que se descobriu que os alunos reflexivos usavam estratégias de resolução de problemas mais eficientes do que as utilizadas pelos impulsivos.

Ainda no que se refere a esse estilo, Messer (1970) formulou a hipótese de que a ansiedade perante uma tarefa de resolução de problemas é susceptível de influenciar a disposição do aluno para ser impulsivo ou reflexivo nessa tarefa. Verificou que a ansiedade deliberadamente induzida teve como consequência uma maior duração dos tempos de decisão quer para

alunos impulsivos quer para alunos reflexivos e em menor número de erros no caso dos impulsivos. Concluiu, assim, que a ansiedade pode ser um factor determinante na disposição de um indivíduo para ser reflexivo.

Esse facto tem levado alguns investigadores a desenvolverem estudos capazes de fazer ressaltar a vertente positiva de dimensões como a impulsividade e a dependência de campo. Rollins e Genser (1977), por exemplo, demonstraram que o estilo impulsividade (não confundir com precipitação) se revelou mais favorável no enfrentar de determinadas situações problemáticas. As crianças reflexivas tinham, na verdade, superado as impulsivas nas tarefas mais simples; todavia, nas mais complexas a situação aparecia invertida, o que pareceu evidenciar que a abordagem sistemática das reflexivas pode ser vantajosa em problemas mais simples, com menor número de alternativas. Contudo, se o problema for complexo, se o número de alternativas for considerável, a abordagem menos sistemática dos impulsivos pode ser agora a mais produtiva.

A relação entre os estilos cognitivos e a resolução de problemas não parece, em suma, estar ainda inequivocamente comprovada. Garrett (1989), na revisão de literatura a que antes nos referimos, concluiu as correlações reportadas pelos autores investigados eram em geral fracas e, ainda assim, algumas delas eventualmente sobredimensionadas.

De qualquer modo, estamos em crer que encarar os estilos como uma componente importante na resolução de problemas não será nunca uma hipótese a desprezar. Isso leva-nos a pensar que, em qualquer projecto de intervenção de sala de aula que tenha por alvo a resolução de problemas, será prudente ter em conta a variável estilos, quanto mais não seja como variável moderadora.

2.3

DESENVOLVIMENTO COGNITIVO: IMPORTANTE RECURSO INTRAPESSOAL

Duas Perspectivas Diferenciadas do Desenvolvimento Cognitivo: Piaget e Vygotsky

Existe uma diversidade de opiniões acerca do modo como o desenvolvimento cognitivo se processa. Bruner (1989), no entanto — omitindo, talvez por modéstia, a sua própria contribuição — destaca, a esse propósito, três grandes autores: Freud, Piaget e Vygotsky. Considera, recordemos, que cada um deles fez incidir o fundamental da sua análise sobre períodos cronológicos diferentes: Freud, mais virado para o passado, Piaget para o presente e Vygotsky para o futuro.

Dado que Piaget e Vygotsky constituem duas referências substantivas deste trabalho, faremos agora uma breve reflexão comparada acerca das ideias de ambos sobre o desenvolvimento cognitivo e das implicações pedagógicas delas decorrentes. Por outro lado, atendendo ao facto de a perspectiva mais recente de Bruner ser, de algum modo, fruto da interacção sinergética entre o pensamento piagetiano e o pensamento vygotskiano[12], as ideias desse

[12] Basta lembrar que Bruner começou por aderir criticamente à corrente piagetiana, para dela se vir progressivamente a afastar, aproximando-se agora de Vygotsky.

autor sobre o desenvolvimento complementarão, sempre que julgado oportuno e relevante, essa reflexão.

Perspectiva Piagetiana: Aprendizagem e Desenvolvimento como Processos Paralelos

Piaget, por estar acima de tudo preocupado com o presente, ao estudar o desenvolvimento cognitivo, põe a ênfase investigativa mais nos processos sincrónicos desse desenvolvimento do que nos diacrónicos. Segundo ele, o desenvolvimento intelectual resulta dum esforço activo e deliberado na procura de *equilíbrio* (factor decisivo no processo) entre dois grandes mecanismos complementares mas simultâneos que operam no presente e que garantem a adaptação do sujeito ao meio onde está inserido. Esses dois grandes mecanismos são a *assimilação* e a *acomodação* (Piaget, 1964). O primeiro permite a "incorporação" dos novos eventos externos nas estruturas cognitivas prévias do sujeito; o segundo torna possível a transformação dessas estruturas, até ao ponto de as reajustar às exigências da nova situação (Almeida, 1988; Ginsburg e Opper, 1979).

Convicto de que a *criança não é simplesmente uma réplica em miniatura do adulto,* Piaget concebe o desenvolvimento cognitivo como um processo que comporta uma sequência de *quatro estádios* de pensamento, qualitativamente diferentes — ou seis, nas formulações em que o primeiro é desdobrado em três períodos distintos (Piaget, 1990) —, correspondendo a cada um deles a capacidade de "ver" o mundo de uma maneira e não de outra (Nickerson, Perkins e Smith, 1985).

Esses estádios são assim designados: *estádio sensório-motor* (0-2 anos); *estádio pré-operatório concreto* (2-7 anos); *estádio das operações lógicas concretas* (7-11/12 anos); *estádio das operações lógicas formais ou abstractas* (a partir dos 11/12 anos). Esta sequência de estádios pode ser caracterizada pelas seguintes propriedades fundamentais (Piaget e Inhelder, 1993):

1. A ordem da sucessão é invariante, apesar de as idades médias que caracterizam os estádios poderem variar de indivíduo para indivíduo. Admite-se, desse modo, a *universalidade dos estádios* : embora com variações individuais, todos os sujeitos, independentemente dos seus ambientes sociais e culturais, passariam deterministicamente por esses quatro estádios e por essa sucessão.

   Mais tarde, veio, todavia, a verificar-se a existência de constrangimentos que impedem que essa universalidade se actualize, sendo isso particularmente verdade para o estádio das operações formais. Constatou-se, com efeito, que, nalgumas culturas com condições privilegiadas para o desenvolvimento do pensamento abstracto (por exemplo, no mundo ocidental), muitos adolescentes revelam incapacidade quase total na realização dessas operações. Por outro lado, diversos estudos demonstravam haver mesmo culturas em que as operações formais piagetianas pareciam estar totalmente ausentes.

   Face a essa evidência, Piaget ver-se-ia forçado a modificar a sua posição quanto à referida universalidade dos estádios; e a reconhecer, por outro lado, terem os seus sujeitos sido escolhidos nas melhores escolas de Genebra, não sendo, por isso, legítimo gene-

ralizar a todos os indivíduos as conclusões de um estudo baseado numa amostra restrita e, de alguma maneira, privilegiada. Piaget admite, aliás, que, em condições extremamente desvantajosas, um tal tipo de pensamento possa até nunca se vir efectivamente a desenvolver (Ginsburg e Opper, 1979).

2. A cada estádio corresponde uma *estrutura de conjunto,* a qual determina os comportamentos individuais. Essa estrutura integradora vai garantir ao indivíduo um funcionamento mental consistente e homogéneo, qualquer que seja o tipo de tarefa enfrentada.

Vários autores têm contestado ou, pelo menos, colocado algumas reservas a essa homogeneidade intelectual. Flavell (1981), por exemplo, é de opinião que, se é verdade que existem factores que apoiam a homogeneidade, outros há, porém, que denunciam haver também heterogeneidade:

> If you really want to study a Piagetian concrete-operational structure in all its power and glory, choose an adolescent as your subject — or better yet, a bright adult! (p. 7)

Como lembra Flavell, o próprio Piaget, na fase final da sua carreira, reconhece já que jovens e adultos podem ser cognitivamente heterogéneos (ou experimentarem *"décalage" horizontal*), no sentido em que são capazes de utilizar operações formais nas áreas de resolução de problemas em que é maior o seu interesse, a sua motivação e a sua experiência, mantendo-se contudo concretos sempre que essas condições não ficam preenchidas. É claro que este tipo de argumentação acaba por colocar em questão a própria validade da ideia de estádios, alimentando, desse modo, uma controvérsia nunca ultrapassada (Bruner, 1989).

Perspectiva Vygotskiana: a Aprendizagem como Motor do Desenvolvimento

Ao contrário de Piaget (e à semelhança de Bruner), Vygotsky não concebe a existência de estádios de desenvolvimento cognitivo universais e biologicamente determinados. Para ele, o sistema de aprendizagem funcional de uma criança nunca será idêntico ao de outra criança, ainda que entre eles possa haver semelhanças pontuais.

Prefere, então, encarar o desenvolvimento como uma evolução contínua, dialéctica e complexa de duas entidades ontologicamente distintas: o *pensamento* e a *linguagem* (verbal). Seguem ambos, de início, percursos completamente autónomos para, mais tarde, em certo ponto do desenvolvimento ontogénico, se encontrarem definitiva e inexoravelmente, passando agora a funcionar numa relação biunívoca total. Nessa altura, como diz Vygotsky (1979), "o pensamento torna-se verbal e a linguagem racional" (p. 192). Esse é, para o autor, o ponto crucial do desenvolvimento cognitivo.

Para além da sua *função externa* (comunicativa ou interpsicológica), a linguagem passa, então, a desempenhar também uma *função interna* (reflexiva ou intrapsicológica), servindo de suporte ao pensamento verbal e abstracto, isto é, às formas superiores de pensamento. Sem ela, o pensamento, então "desencarnado", voltaria "ao reino das sombras", isto é, à sua forma pré-verbal:

> J'ai oublié le mot que je voulais dire et ma pensée, désincarnée, retourne au royaume des ombres. (Extracto de um poema de O. Mandelstam, Schneuwly e Bronckart, 1985, p. 67)

O que acontece com a linguagem passa-se, de modo geral, com todas as outras funções psicológicas:

> En el desarrrollo cultural del niño, *toda* [itálico nosso] función aparece dos veces: primero, a nivel social, y mas tarde, a nivel individual; primero, *entre* personas (*interpsicológica*), y después, en el *interior* del proprio niño (*intrapsicológica*). (Vygotsky, 1979, p. 192)

Mas, como antes dissemos, um dos aspectos mais marcantes da conceptualização de Vygotsky sobre o desenvolvimento é estar ela virada fundamentalmente para o futuro sem, todavia, deixar de se apoiar no presente, e sem negar a influência determinante do passado, ou seja, a influência do legado histórico-cultural da sociedade em que o indivíduo se insere.

Essa abordagem prospectiva encontra-se bem representada na já referida noção vygotskiana de *zona do desenvolvimento próximo*. Corresponde ela, no entender de Bruner (1989), como que ao *modus experandi* da criança para alcançar a sua competência intelectual. Mas, aquilo que a criança é capaz de realizar hoje em colaboração com os adultos, podê-lo-á potencialmente realizar sozinha amanhã:

> What the child can do in cooperation today he can do alone tomorrow. (Vygotsky, 1986, p. 188)

A noção de zona do desenvolvimento próximo ajuda-nos, assim, a prever a dinâmica do desenvolvimento; tem em conta não só o que a criança já sabe realizar, mas também aquilo que está em vias de conseguir fazer. O estado de desenvolvimento potencial da criança pode, desse modo, ser determinado com base em, pelo menos, dois factores: o seu estado de desenvolvimento actual e a sua zona do desenvolvimento próximo — ou seja, a gama de tarefas complexas que ela consegue realizar com ajuda e que, conse-

guindo-o, será capaz de realizar posteriormente sozinha, tendo, desse modo, crescido intelectualmente.

Implicações Educacionais das Teses de Piaget e Vygotsky

Vygotsky teve a nítida percepção das profundas implicações pedagógicas daquela sua noção que, parecendo uma questão trivial, é, na realidade, de "importância fundamental" e implica "mudanças decisivas" na forma como se concebe a relação entre o desenvolvimento e a aprendizagem, sobretudo em idade escolar (Vygotsky, in Schneuwly e Bronckart, 1985, p. 109).

Um ensino como o tradicional, orientado para um estado de desenvolvimento já atingido, é, na perspectiva de Vygotsky, de todo improdutivo, do ponto de vista do desenvolvimento: não está em condições de o conduzir e estimular; limita-se a dele tirar partido. A teoria da zona do desenvolvimento próximo tem subjacente um princípio didáctico precisamente oposto a essa orientação tradicional: o "ensino deve ser orientado para o futuro e não para o passado" (Vygotsky, 1986, p. 189).

Por outro lado, no que respeita ainda ao papel dos outros no desenvolvimento da criança, Bruner (1989) compara, de forma sugestiva, as perspectivas de Piaget e Vygotsky. Para Piaget, o processo de desenvolvimento teria subjacente uma espécie de "monólogo", realizado por uma "criança solitária", entregue às suas próprias reflexões sobre as acções que vai executando.

Por outras palavras: em Piaget, a tarefa da criança é construir uma representação do mundo físico; consegue-o, graças a algumas estruturas cognitivas que subjazem ao seu pensamento, mais do que à comunicação com os

outros. À linguagem reserva Piaget um estatuto de subproduto, não lhe conferindo grande relevância como determinante do desenvolvimento.

Esse papel menos decisivo que Piaget atribui à comunicação da criança com os outros, particularmente com o professor, está implícito na diferenciação que o autor estabelece entre *desenvolvimento cognitivo* e *aprendizagem* (Piaget, 1964). O primeiro é para ele um processo espontâneo, intimamente associado ao desenvolvimento ontogénico; diz, por isso, respeito à totalidade das estruturas de conhecimento. Ao contrário, a aprendizagem é, em geral, provocada e limitada no seu domínio de acção a um problema ou a uma estrutura particular; é um processo puramente exterior, paralelo de qualquer modo ao processo de desenvolvimento cognitivo, mas não participando activamente nele, nem o modificando realmente. É assim que, para Piaget, o desenvolvimento cognitivo determina e explica a aprendizagem:

> Development is the essential process and each element of learning occurs as a function of total development. (Piaget, 1964, p. 176)

Em contrapartida, a teoria de Vygotsky faz ressaltar a imagem de uma criança não solitária, mas em cooperação e "diálogo" com os outros, diálogo esse que Bruner (1966), lembrando Sócrates, reafirma como decisivo no desenvolvimento:

> With Socrates, we know somehow that a dialogue can lead people to discover things of great depth and wisdom. (p. 19)

Além disso, segundo Vygotsky, a aprendizagem da criança inicia-se muito antes da sua escolarização. Toda a aprendizagem escolar tem uma pré-história.

> L'enfant commence par exemple à étudier l'arithmétique à l'école, mais bien avant d'entrer à lécole il a déjà acquis une certaine expérience concernant les quantités; (...) l'enfant a donc déjà appris une arithmétique préscolaire que seuls des chercheurs en psychologie très myopes peuvent ne pas valoriser, ou ignorer complètement. (Vygotsky, in Schneuwly e Bronckart, 1985, pp. 104-105)

As concepções piagetiana e vygotskiana, dadas as suas diferenças significativas, dão origem a posturas distintas no que diz respeito à função da educação e, mais concretamente, à função da escola. Começaremos por referir que, entre ambos, foi Vygotsky quem mais se preocupou directa e explicitamente com o problema da educação. É, no entanto, escasso o número de abordagens didácticas visando integrar de forma adequada as concepções de Vygotsky na prática escolar[13] .

Por outro lado, apesar de as implicações educativas da teoria de Piaget serem imensas, Piaget ele próprio, e disso foi repetidamente acusado, não se interessou de forma directa por essa questão. É assim que a teoria de Piaget é, por exemplo, praticamente omissa relativamente ao papel do professor. Dada a sua perspectiva mais "monológica" do desenvolvimento cognitivo, parece legítimo inferir que ao professor estaria reservada a missão de proporcionar ao aluno os materiais e as experiências necessários para ele próprio realizar o seu desenvolvimento.

Para Vygotsky, muito pelo contrário, a escolarização exige a continuação do diálogo que o desenvolvimento implica. Um comportamento consciente e auto-regulado do professor e a sua capacidade de fazer que os alunos possam interiorizar esse tipo de comportamento como suporte da constru-

[13] Ver tentativas em Garnier, Bednarz e Ulanovskaya (1991): série de iniciativas concretas que tiveram por base o pensamento de Vygotsky e também de Piaget.

ção do conhecimento e das competências, constituem pontos nucleares da sua teoria. Bruner (1966), indo nessa linha, afirma:

> Instruction is, after all, an effort to assist or to shape growth. (p. 1)

Desse modo, a escola, em geral, e o professor, em particular, são para Vygotsky absolutamente essenciais para o aluno desenvolver "processos psicológicos superiores". É na instituição escolar que, em seu entender, o aluno toma contacto com importantes instrumentos sociais (como é o caso dos conceitos científicos) e se constrói a maior parte das significações sociais.

Percebe-se, assim, que Vygotsky seja hoje considerado (ver Bråten, 1991a, 1991b, 1992) o grande precursor daqueles que defendem caber à escola, como finalidade educativa superior, o desenvolvimento do pensamento reflexivo e auto-regulativo dos alunos, ou seja, a sua metacognição.

Pensamento Lógico Piagetiano: uma Visão Parcial do Pensamento

Conforme iremos desenvolver no capítulo subsequente, o pensamento de Piaget pode enquadrar-se no âmbito da corrente construtivista. Dessa forma, para esse autor, o conhecimento não será nunca uma cópia da realidade. Conhecer um objecto não significa simplesmente olhar para ele e fazer dele uma cópia mental. Conhecer um objecto é, sobretudo, actuar sobre ele, ou seja, realizar sobre ele uma operação mental adequada. É essa operação que constitui para Piaget (1964) a essência do conhecimento.

Uma *operação* é, assim, uma acção interior ao sujeito, através da qual o objecto do conhecimento é modificado. Uma operação nunca actua isolada; aparece sempre associada a outras operações e, em resultado disso, faz sempre parte de uma estrutura de conjunto ou, nas palavras de Piaget, de um *esquema operatório.* São essas estruturas operacionais, ou seja, esses esquemas, que permitem a construção psicológica do conhecimento. O problema central do estudo do desenvolvimento é, precisamente, tentar compreender a formação, a elaboração, a organização e o funcionamento dessas estruturas.

Mas sendo elas o substracto da cognição, interessava a Piaget encontrar o elo que mantém as operações unidas em estruturas de conjunto — ou estruturas algébricas de grupo, como veio a propor (por exemplo, o grupo INRC, subjacente ao funcionamento das operações formais). A álgebra a que recorreu foi a "álgebra de Boole", assente na lógica proposicional, e que foi frequentemente considerada como o suporte das operações cognitivas básicas, ou seja, do pensamento. Ausubel et al. (1978) referem mesmo ter sido frequente, entre os adeptos da psicologia cognitiva contemporânea, particularmente entre os psicólogos de formação filosófica de base, admitir-se como bastante plausível a hipótese de a lógica (proposicional) e o pensamento serem mais ou menos coextensivos.

Apesar de Piaget ter explicitamente declinado que entre lógica e pensamento haja essa coextensão (ou um isomorfismo perfeito), e ter afirmado não pretender cair no logicismo (Piaget e Inhelder, 1993), tanto a ênfase acentuada nos aspectos puramente lógicos do pensamento, como o paralelismo que transparece da sua teoria entre as operações mentais e as regras da lógica matemática, tudo isso, em suma, aponta para uma perspectiva

que identifica mais lógica com pensamento do que aquilo que Piaget terá admitido.

Fácil é assim perceber que essa insistência de Piaget na lógica, como fundamento substantivo e funcional do pensamento, tenha sido um dos aspectos mais criticados na sua formulação. Ausubel et al. (1978), por exemplo, são de opinião que uma das vertentes mais importantes do pensamento (o pensamento criativo ou produtivo) tem muito pouco a ver com a lógica; essa vertente "não é ilógica mas a-lógica" (p. 570).

Gardner (1985), por seu turno, sustenta que uma das grandes dificuldades da psicologia piagetiana foi ter considerado a inteligência como um todo indiferenciado. Na sua opinião, a inteligência é uma entidade heterogénea e multifacetada. É assim que, na sua *teoria das múltiplas inteligências,* o autor concebe sete formas distintas de inteligência: lógico-matemática, linguística, musical, espacial, motora, interpessoal e intrapessoal (M. O. Valente, 1987).

A teoria de Piaget, à semelhança do que acontece com a maioria das abordagens em educação, ao privilegiar a inteligência lógico-matemática, deve ser considerada, à luz de Gardner, uma teoria parcial do funcionamento mental. É nesse sentido que Bruner (1966) considera que o que Piaget fez foi escrever a teoria lógica subjacente ao procedimento da criança a lidar com as tarefas intelectuais. A sua conceptualização não constitui uma descrição do processo de desenvolvimento, apesar de ser útil na descrição do conhecimento que a criança possui.

Pensamento Lógico e Resolução de Problemas de Ciências

Em conformidade com o que ficou dito, é possível afirmar, com Burns (1976), que "aprender a resolver problemas não equivale a aprender a ser mais lógico" (p. 89). Significa pensar segundo várias perspectivas e não apenas e sempre de forma linear e sequenciada. Significa tanto utilizar pensamento crítico como pensamento criativo.

Mas, não obstante essa imagem parcial que a teoria de Piaget apresenta do pensamento e das dimensões cognitivas intervenientes na resolução de problemas, julgamos, ainda assim, poder seguramente afirmar, tal como Ausubel et al. (1978), que uma parte substancial dessa teoria permanece viável como suporte explicativo de uma vertente importante do funcionamento mental.

Foram, com efeito, identificadas correlações positivas entre medidas do pensamento lógico-formal (piagetiano) e medidas de rendimento em ciências (Lawson e Renner, 1975; Sayre e Ball, 1975). Estes resultados e outros no mesmo sentido levaram, inclusivamente, alguns autores a postular que o pensamento lógico formal é um factor que influencia significativamente a aprendizagem e particularmente a resolução de problemas em ciências[14].

Saarni (1973) obteve mesmo evidência que lhe permitiu concluir que o desenvolvimento cognitivo piagetiano é um bom preditor da resolução de problemas nessas áreas. Verificou que alunos adolescentes classificados de formais ou transitivos evidenciavam desempenhos significativamente mais elevados, quando comparados com os seus colegas concretos.

[14] Ver Chiappetta (1976), para uma boa revisão de literatura nesse âmbito.

Esquemas Lógico-Formais mais Relevantes

Vimos anteriormente que o conceito de operação é nuclear na perspectiva construtivista de Piaget. Verificámos também que, subjacente ao funcionamento dessas operações, está a lógica proposicional. Percebemos, por isso, a pertinência que em Piaget tem a designação "operação lógica de pensamento". Esse conceito foi utilizado pelo autor para caracterizar os estádios de desenvolvimento que postulou ou, mais propriamente, para caracterizar os dois últimos estádios, isto é, o estádio das operações lógicas concretas e o estádio das operações lógicas formais.

Dado que nos move nesta altura a tentativa de esboçar o retrato piagetiano (ou lógico) da adolescência, importa acima de tudo focalizar a nossa atenção para o estádio das operações formais. Mas, uma vez que qualquer estádio integra o precedente, ampliando-o, útil nos parece iniciar esse esboço pela descrição sumária do estádio concreto precedente.

Estádio das operações concretas. A designação *operações concretas* deriva da capacidade de a criança realizar operações lógicas mentais sobre uma situação concreta. A forma lógica dos juízos e raciocínios organiza-se apenas em conexão mais ou menos directa com os conteúdos; significa isso que estas operações só funcionam apoiadas na realidade concreta ou nas suas representações tomadas como a realidade, e não em relação a simples hipóteses. A criança revela dificuldade em generalizar o que aprende; ou seja, é escassa a faculdade de a criança transferir aprendizagem de umas situações para outras, isto é, de resolver situações problemáticas complexas.

Estádio das operações formais. Na fase de desenvolvimento anterior, se é verdade que a criança já se libertou da imagem perceptual da aparência das coisas, encontra-se, todavia, condicionada pelos objectos concretos ou por representações mentais com eles identificadas. Neste período, pelo contrário, começa a desenvolver-se a capacidade, progressivamente mais elaborada, de a criança realizar operações lógicas mentais, agora não só sobre objectos concretos, mas também sobre as suas representações simbólicas ou abstractas.

A grande novidade deste nível é, porém, a possibilidade de a criança, devido a uma diferenciação entre forma e conteúdo, ser capaz de raciocinar em função de simples hipóteses, ou seja, de realizar *pensamento hipotético-dedutivo* ou *formal* (Inhelder e Piaget, 1961; Piaget e Inhelder, 1993). A criança é agora capaz não só de realizar em pensamento acções possíveis sobre os objectos, mas também de "reflectir" sobre essas acções, independentemente dos objectos, e de os substituir por simples proposições. Evidencia agora, como consequência, a aptidão para utilizar conhecimentos e competências em contextos diferentes daqueles em que foram aprendidos. Desenvolve, desse modo, a sua capacidade de resolver problemas.

As operações formais constituem, de facto, uma generalização das operações concretas. São, no fundo, "operações à segunda potência", baseadas, em última análise, em operações concretas, uma vez que cada proposição já constitui, no seu conjunto, o resultado de uma operação concreta. Dessa maneira, o pensamento formal é como que pensamento em segundo grau: o pensamento concreto é a representação de acções possíveis; o pensamento formal a representação de uma representação de acções possíveis (Piaget, 1990).

Além disso, ao explicarem o *pensamento formal,* Inhelder e Piaget (1961) consideram que esse tipo de pensamento engloba uma série de esquemas operatórios que se desenvolvem em simultâneo com o *raciocínio verbal,* todos em cooperação (Piaget e Inhelder, 1993). Estes *esquemas lógicos formais* incluem: o *raciocínio combinatório* (ou esquema lógico-formal I), o *raciocínio probabilístico* (ou esquema lógico-formal II), o *raciocínio proporcional* (esquema lógico-formal III). Destacam, ainda, como suporte de todo o pensamento formal, regras fundamentais da lógica proposicional como o *controlo de variáveis.*

- ***Raciocínio combinatório***. Tal como o grupo INRC, este esquema formal encontra-se subjacente ao funcionamento de todos os outros esquemas formais piagetianos. Permite "libertar as relações e as classificações dos seus laços concretos e intuitivos". É de "importância primordial na extensão e reforço dos poderes do pensamento, pois (...) permite combinar entre si objectos ou factores (...) ou ainda ideias ou proposições (...) e, por conseguinte, raciocinar, em cada caso, sobre a realidade dada" (Piaget e Inhelder, 1993, p. 119).

- ***Raciocínio probabilístico.*** Resulta de uma *assimilação do acaso* por parte das operações formais; corresponde-lhe, desse modo, uma pluralidade de esquemas operatórios probabilísticos. Apoia-se, sobretudo, em operações formais como as que estão associadas ao raciocínio combinatório e ao raciocínio proporcional.

- ***Raciocínio proporcional.*** A operação de proporcionalidade (directa ou indirecta) sendo, como vimos, um esquema cognitivo estruturante do pensamento lógico-formal, é também uma relação ou uma função basilar na construção da ciência, muito especialmente da fí-

sica (Karplus, 1979; Karplus et al., 1977a, 1977b; Karplus, Pulos e Stage, 1983). De acordo com Piaget e Inhelder (1993), no seu desenvolvimento essa operação passa sempre por uma fase qualitativa e lógica antes de se estruturar quantitativamente. Mas é claro que, mesmo após essa consolidação a nível quantitativo, as fundações qualitativas continuam a ser fundamentais. Pouco contribuem, assim, para o desenvolvimento desta componente do pensamento formal aquelas tarefas escolares que apenas enfatizam as relações aritméticas entre pares de números (proporções) e não a relação qualitativa entre as variáveis em si mesmas (Karplus, Pulos e Stage, 1983). O uso indiscriminado e mecanizado da *regra de três* é apenas um dos muitos exemplos em que, na prática escolar corrente, isso acontece.

Retrato Piagetiano do Pensamento do Adolescente

É-nos agora possível traçar uma grande panorâmica do pensamento adolescente, no que diz respeito à sua competência lógico-formal. É o que passaremos a concretizar no que se segue.

Para a criança operacional concreta, "a realidade domina a possibilidade": essa criança não consegue ponderar todas as possibilidades de um acontecimento, antes da sua ocorrência — por exemplo, não planifica detalhadamente uma actividade problemática. Para o adolescente, ao contrário, a "possibilidade domina a realidade" (Ginsburg e Opper, 1979): confrontado com um problema, o adolescente não se limita a observar os resultados empíricos; pensa nas possibilidades inerentes à situação. Torna-se possível a realização de "operações formais"; ou seja, o adolescente consegue agora

pensar em hipóteses, e não apenas em objectos. Por isso, o pensamento do adolescente, ao contrário do da criança, é, como assinala Piaget (1964), hipotético-dedutivo.

Pode afirmar-se que o pensamento do adolescente alcançou ou caminha para um estado avançado de equilíbrio; o que quer dizer que as suas estruturas cognitivas se desenvolveram nesta altura até ao ponto em que são capazes de se adaptar a uma grande diversidade de problemas, conferindo uma maior flexibilidade cognitiva.

Todavia, Piaget alerta para que isso não significa que o desenvolvimento do indivíduo cesse aos 16 anos de idade. Ele tem ainda muito para aprender em muitas áreas. Só que, pensa Piaget, por volta do final da adolescência, os modos de pensamento do indivíduo (ou seja, as suas estruturas cognitivas) estarão praticamente formados, experimentando reduzidas modificações depois disso.

Por outro lado, Piaget não pretendeu dizer que o adolescente tipicamente num estádio formal empregue *sempre* todas ou algumas das operações formais na resolução de problemas, mas antes que é potencialmente *capaz* de o fazer. Muitos factores podem impedir que essa potencialidade se actualize: fadiga, aborrecimento, falta de motivação (Ginsburg e Opper, 1979). O modelo de Piaget das operações formais descreve, por conseguinte, o nível de funcionamento ideal, não se ajustando, necessariamente, aos desempenhos reais.

A maior parte dos processos de pensamento exigidos ao nível da escola secundária enquadra-se no âmbito das operações formais piagetianas, uma vez que as abordagens tradicionalmente adoptadas privilegiam o pensamento lógico. Uma percentagem significativa de adolescentes e até de es-

tudantes universitários [para falar apenas em meios escolares] ainda não adquiriu a capacidade de pensar a esse nível de forma satisfatória e consistente. É o que se pode concluir de toda uma série exaustiva de estudos, tais como os referenciados por Chiapetta (1976) ou Lovell (1961).

Este segundo aspecto tem tanto mais significado quanto, de acordo com Piaget, o nível de desenvolvimento cognitivo de um indivíduo constitui um constrangimento para aquilo que ele é capaz ou não de aprender. Isto significa que uma parte significativa do ensino das ciências será, em princípio, problemático para uma parte substancial dos alunos.

Validade Educativa da Teoria de Piaget: uma Perspectiva Crítica

Vários autores têm criticado a validade da teoria de Piaget como teoria educativa, ou seja, como suporte das teorias da aprendizagem, nomeadamente da aprendizagem escolar. Entre os seus mais acérrimos críticos contam-se Brown e Desforges (ver, Rowell, 1984 ou Rowell e Dawson, 1979) que rejeitam a aplicação da tese piagetiana à educação, por a considerarem quase exclusivamente assente em "convicções epistemológicas".

Rowell e Dawson (1979), no seu excelente artigo *Skill Integration, Piaget and Education,* valem-se da própria crítica de Brown e Desforges, afirmando que, por ironia, foi também a própria "convicção epistemológica" destes autores que os terá impedido de apresentar uma crítica consistente do sistema piagetiano. Rowell e Dawson não favorecem, por isso, o abandono puro e simples da teoria de Piaget. Advogam, antes, uma *complementaridade* entre teorias alternativas já que, na sua opinião, não há uma mas várias teorias preocupadas com o desenvolvimento e com a aprendizagem;

todas elas podem fornecer suportes heurísticos para desenvolver estratégias educativas adequadas (Rowell, 1984).

Um outro adversário declarado da validade pedagógica da teoria de Piaget é o neoausubeliano Novak (1977b). No seu artigo *An Alternative to Piagetian Psychology and Mathematics Education,* esse autor defende, inclusivamente, o abandono da teoria de Piaget e a sua substituição pela teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. Tal como Ausubel, Novak considera que a questão educativa principal se centra na forma como os alunos adquirem grandes estruturas de conceitos específicos hierarquicamente organizados e não propriamente em saber se eles desenvolvem "estruturas cognitivas" ou "operações" gerais.

Lawson (1982a) rebate vivamente essa posição de Novak, afirmando que as crianças e os adolescentes desenvolvem operações cognitivas gerais (embora talvez não inteiramente na forma que Piaget inicialmente supunha), ao mesmo tempo que adquirem também conhecimento específico organizado (Siegler, 1978b).

Nessa perspectiva, para Lawson, tal como antes para Rowell e Dawson, a teoria de Piaget e a de Ausubel, ao invés de serem olhadas como antagónicas, devem antes ser entendidas como complementares, cada uma delas preferencialmente preocupada com um tipo de conhecimento.

Em resumo: os argumentos que apresentámos, se é verdade que apoiam, por um lado, a tese de a teoria de Piaget ser parcial ao incidir apenas sobre uma das dimensões do pensamento (o pensamento lógico) e do conhecimento (o conhecimento processual), servem, por outro lado, para reforçar a convicção de que, aplicada a essa dimensão do pensamento e do conhecimento, a teoria de Piaget é ainda um referencial teórico válido. No que toca

à resolução de problemas, a correlação que ela prevê entre a competência no pensamento lógico e a competência na resolução de problemas parece, inclusivamente, ser confirmada na prática. Por essas razões, a variável *pensamento lógico* poderá ser um factor moderador na aptidão para resolver problemas que importa não escamotear.

2.4

RECURSOS METACOGNITIVOS: A METACOGNIÇÃO COMO CONCEITO INTEGRADOR DA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

> Also, if somebody knows something, then he knows that he knows it, and at the same time he knows that he knows that he knows.
>
> — *Espinosa.*

O Desenvolvimento do Conceito de Metacognição

O Emergir do Conceito

É hoje em dia consensual que as pessoas não são meras vítimas das suas aptidões e disposições imediatas, mas agentes activos capazes de tomar consciência dos seus actos, de optimizar voluntariamente os seus desempenhos, de aprender a partir da consciencialização dos seus erros:

> One of the interesting characteristics of people is that they not only behave, but can watch themselves behaving, and believe that they can exert a certain amount of control over how they behave. People are active agents who can be aware that things are or are not going as intended, who can deliberately optimize their performance, and who can learn from becoming aware of their mistakes. (Robinson, 1983, p. 106)

Durante muito tempo, todavia, a psicologia tentou compreender como é que as pessoas realizam a sua cognição, como é que resolvem problemas, sem ter em conta essa capacidade de monitorizar e controlar a própria actividade cognitiva.

Na década de setenta, mudanças importantes iriam, no entanto, ocorrer, particularmente a nível escolar. Começou-se a constatar que uma grande parte dos alunos raramente implementava estratégias conscientes e consistentes necessárias à resolução eficiente das tarefas. Verificou-se, além disso, que muitos deles revelavam notória incapacidade de transferir estratégias aprendidas num contexto para problemas imersos em novos contextos (Bråten, 1991a). Terá sido essa incapacidade que, em parte, impulsionou o desenvolvimento crescente dos estudos sobre metacognição.

O termo "metacognição", que entrou em voga na psicologia nessa década de setenta, corresponde, na verdade, a um conceito antigo, se o considerarmos numa perspectiva filosófica (Kant, 1989; Espinosa, 1987). Mesmo em psicologia, apesar de o termo ser novo, o conceito subjacente não o é totalmente (A. Brown, 1987; Reynolds e Wade, 1986). Já Vygotsky, nos anos trinta, e tal como antes tivemos ocasião de dar a entender, havia tratado essa temática, se bem que com outra designação. Recentemente, Bråten (1991a, 1991b, 1992) tenta demonstrar que terá sido aquele autor um dos grandes precursores do construto na área da psicologia. Também Piaget, com noções como auto-regulação, *consciousness* ou abstracção reflexiva, poderá ser considerado um dos pioneiros da metacognição. Aliás, na parte final da sua carreira, Piaget interessou-se cada vez mais pelos mecanismos da aprendizagem auto-reflectida e pela influência das funções reguladoras, conscientes ou inconscientes, na promoção do desenvolvimento cognitivo e da aprendizagem (Piaget, 1977; A. Brown, 1987).

Seria, contudo, John Flavell (1981), em 1971, o primeiro psicólogo a usar o termo de forma consistente, tendo focalizado principalmente o seu interesse nos aspectos metacognitivos relacionados com a memória ("metamemória") — por sinal, uma das dimensões do conceito que havia

sido também alvo do interesse de Vygotsky (1978, 1979). Muitos dos artigos primitivos subordinavam-se, aliás, a esse título. Na opinião de A. Brown (1978), tal situação reflectia mais o "estado da arte" da investigação nesse campo do que qualquer convicção de que as funções metacognitivas envolvidas nos mecanismos de memória fossem necessariamente distintas das que utilizamos noutros domínios.

Procurando uma maior generalidade para o conceito, a mesma autora concebe a metacognição como uma entidade que subsume importantes competências gerais de resolução de problemas, entendendo-se aqui problema numa acepção geral, que engloba o caso particular das situações tradicionalmente pertencentes à esfera da memória.

Na verdade, para além da memória, foram posteriormente desenvolvidos trabalhos em áreas tão diversificadas como comunicação, leitura e escrita, ou resolução de problemas (Flavell, 1976, 1981). Ultimamente, têm sido mesmo realizados estudos que visam conciliar os aspectos puramente cognitivos da metacognição com as suas extensões afectivas, particularmente de ordem motivacional (Salomon e Globerson, 1987).

Os trabalhos pioneiros de Flavell e, posteriormente, de A. Brown — as definições (independentes, mas complementares) por ambos apresentadas seriam as que maior impacte vieram a ter na literatura — dão origem a uma autêntica vaga de fundo na investigação metacognitiva, a ponto de, em pouco tempo, a psicologia e a educação se verem completamente inundadas de "metas": *metacognição, metacomunicação, metalinguística, metamemória, meta-atenção, metacompreensão* (A. Brown, 1987).

Metacognição e Cognição: Distinção Controversa

Não obstante alguns autores considerarem que se está face a uma nova e estimulante perspectiva investigativa, outros, porém, criticam a intensidade e a pertinência dessa vaga de fundo e, sobretudo, a distinção, para eles arbitrária, entre metacognição e cognição. Estes últimos vão ao ponto de encararem essa nova variável psicológica como um *epifenómeno.*

Mas, apesar de admitir ter a metacognição sido um conceito problemático logo de início — nomeadamente por transportar consigo alguns dos problemas epistemológicos mais resistentes da história da psicologia —, e de compreender aqueles que se declaram confundidos com a proliferação de "metas" existente na literatura, A. Brown (1978) rejeita, ainda assim, classificar esse conceito de epifenómeno, ou seja, de um "extra opcional". Manifesta-se convicta de que a adição do prefixo "meta" pode ser plenamente justificada, desde que isso implique, como acredita que pode implicar, uma mudança de significado do novo termo assim formado, relativamente àquele de que deriva.

Desse modo, os fenómenos descritos como metacognitivos são, para Brown, os aspectos importantes do conhecimento nos quais o que fundamentalmente interessa é o conhecimento acerca das próprias cognições e não as cognições em si mesmas. O seu nome deriva, precisamente, desta qualidade de "cognição acerca da cognição" ou "pensar sobre o pensar" (Yussen, 1985, p. 253).

À primeira vista, parece fácil distinguir entre cognição e metacognição. A. Brown (1987), apesar de se pronunciar a favor da viabilidade teórica e da importância metodológica e epistemológica dessa distinção, declina, contudo, que se trate de empresa fácil:

> It is often difficult to distinguish between what is meta and what is cognitive. (p. 66)

Para além disso, surgem novos problemas quando se pretende operacionalizar aquelas definições. A reconhecida dificuldade de encontrar respostas satisfatórias para esses problemas dá algum vigor às argumentações dos que acusam a metacognição de ser um conceito vago, difuso e impreciso (Weinert, 1987). Diga-se de passagem que são os próprios pioneiros, Flavell e A. Brown, a reconhecerem essa dificuldade. Para Flavell (1981), a metacognição é "um conceito algo difuso" que, talvez por isso, tem sido associado a uma diversidade de processos epistémicos; Brown (1987), por seu lado, refere-se-lhe como "um conceito que está na moda, complexo e de significado frequentemente distorcido" (p. 65).

Yussen (1985), numa análise crítica extensiva da literatura sobre metacognição, verifica ter esse vocábulo sido usado com significados diversos, e estar a teoria dominante apoiada fundamentalmente em situações de investigação particulares — recurso a problemas bem-definidos e ênfase quase exclusiva na problemática da infância. Como resultado, muitas das conceptualizações sobre a metacognição acabam, no seu entender, por ter escasso potencial explicativo e reduzida utilidade prática. Ilustrando esse ponto, Reynolds e Wade (1986) informam que muitos dos investigadores que inicialmente se entusiasmaram com o carácter apelativo do conceito acabaram por dele desistir, dada a imprecisão e uso indiscriminado do mesmo:

> The term metacognition refers to a general concept that subsumes metas for almost any cognitive process imagined. (p. 308)

Dualidade do Conceito de Metacognição: Onde a Controvérsia se Intensifica

O essencial da *controvérsia* associada à definição de metacognição tem, todavia, muito a ver com a velha, e para nós já familiar, questão filosófica (e, posteriormente, também psicológica) relativa à distinção entre "saber que" e "saber como"; ou, nas palavras de A. Brown, entre o "conhecimento estático" e o "conhecimento dinâmico". Logo nos seus primórdios, o conceito de metacognição era suposto referir-se, com efeito, a duas formas de competência cognitiva: conhecimento declarativo acerca do sistema cognitivo e dos seus conteúdos ("saber que") e regulação e controlo desse sistema ("saber como").

Essas duas formas da metacognição encontram-se claramente representadas na definição de Flavell (1976):

> Metacognition refers to one's knowledge concerning one's own cognitive processes and products or anything related to them. (...) Metacognition refers among other things to the active monitoring and consequent regulation and orchestration of these processes in relation to the cognitive objects or data on which they bear, usually in the service of some concrete goal or objective. (p. 232)

Mais recentemente, A. Brown (1987) ofereceu a seguinte definição (a qual implica a mesma distinção central):

> Metacognition refers to understanding of knowledge, an understanding that can be reflected in either effective use or overt description of the knowledge in question. (p. 65)

Apesar de ambas as definições preverem a existência dessas duas formas de metacognição, é sobretudo o formalismo de A. Brown que mais tenta calar alguma daquela controvérsia, estabelecendo uma distinção nítida, se bem que artificial, entre elas.

Percebe-se que a utilização de um mesmo termo (metacognição) para representar duas áreas de investigação, muitas vezes concebidas como distintas ou, até, dicotómicas, seja, para já, um dos pólos da controvérsia. Quanto a A. Brown (1987), essa situação é bastante compreensível, por duas razões principais: primeiro, pelo facto de as duas vertentes da metacognição terem raízes históricas profundamente distintas; segundo, por se estar a utilizar uma única palavra para identificar um fenómeno tão complexo e multifacetado como este. Por considerar, todavia, que as duas vertentes estão íntima e dialecticamente relacionadas, a mesma autora critica as perspectivas que levam a dicotomizações excessivas daquele domínio conceptual, conducentes, por certo, a abordagens demasiado simplistas e demasiado redutoras.

Bråten concorda, no essencial, com a argumentação de Brown, particularmente com a ideia de a existência de raízes históricas diferentes ser uma das causas mais determinantes das tensões e da falta de unidade epistemológica que caracterizam a área. Argumenta, contudo — a isso dedicando três importantes artigos (1991a, 1991b, 1992) —, que a teoria de Vygotsky poderá oferecer um contributo valioso e consistente para gerar a unidade pretendida. Nessa série de artigos, Bråten propõe-se, inclusivamente, demonstrar que a tese vygotskiana integra, em maior ou menor grau, todos os temas metacognitivos presentes nas formulações de Flavell e A. Brown[15].

Bråten comunga, assim, do optimismo de Flavell (1987). Não escamoteando as dificuldades por que o conceito de metacognição ainda passa,

[15]Ao contrário do que era admitido por A. Brown (1987), a qual relacionava Vygotsky apenas com a influência da socialização na formação da consciência metacognitiva do indivíduo.

este autor manifesta-se confiante de que o futuro irá superar essas dificuldades e que esse conceito continuará a desempenhar um papel de relevo no estudo da cognição em geral. Idêntico ponto de vista é defendido, na verdade, por Bråten, a avaliar pelo que é possível inferir da sua seguinte citação:

> Considering the growing recognition that learning, problem-solving, and remembering are not something that hapens *to* students, it is something that happens by students, I shall (...) venture to predict that metacognition will remain in the foreground of cognitive psychology regardless of terminology. (...) I thus tend to agree with Brown (...) that the theoretical ideas and the phenomena subsumed under this term will continue to play a major role in the study of cognition. (p. 17)

Componentes da Metacognição: o Modelo da Monitorização Cognitiva de Flavell

O *modelo da monitorização cognitiva* de Flavell (1981) pretende sistematizar toda a variedade de elementos (estáticos e dinâmicos) que ocorrem durante uma actividade que implique, pelo menos, algum índice de metacognição. Prevê a diferenciação da metacognição em duas componentes fundamentais: o *conhecimento metacognitivo* e as *experiências metacognitivas*. Não prevê, todavia (ao contrário de A. Brown) uma distinção explícita entre o conhecimento metacognitivo (declarativo ou estático) e o controlo metacognitivo (processual ou dinâmico). Quer dizer, em Flavell a expressão "conhecimento metacognitivo" aplica-se ao conhecimento na sua totalidade (declarativo e processual).

Por outro lado, o conhecimento metacognitivo e as experiências cognitivas não são para o autor diferentes em essência das entidades cognitivas correspondentes. Delas diferem, apenas, no conteúdo funcional. Poder-se-á

juntar uma terceira componente, os *objectivos da tarefa,* porventura menos importantes, mas, ainda assim, influentes.

Dadas as importantes implicações para a resolução de problemas, segue-se uma breve caracterização de cada uma daquelas três componentes:

- ***Objectivos***. São as metas, implícitas ou explícitas, que orientam a cognição e que podem influenciar o tipo e a profundidade do processamento. Delas dependem também aspectos como o controlo da atenção, a selecção de representações e estratégias e os esquemas a activar na memória. Facilmente se percebe que a identificação do objectivo de um problema — a sua "verdadeira natureza", como diria Hayes — condiciona decisivamente o rumo que o processo de resolução pode vir a tomar.

- ***Experiências metacognitivas***. São experiências conscientes, cognitivas ou afectivas (ideias, pensamentos, sentimentos, emoções) que condicionam o funcionamento cognitivo. Flavell (1987) define-as assim:

  > One his having a metacognitive experience whenever one has the feeling that something is hard to perceive, comprehend, remember, or solve. Thus, a metacognitive experience can be any kind of affective or cognitive conscious experience that is pertinent to the conduct of intellectual life. (p. 24)

  A impressão de saber ou de não saber, de compreender ou não compreender, é uma experiência mental que tem recebido considerável atenção nos últimos anos e que se pode classificar de metacognitiva; o mesmo acontece relativamente à "sensação" de que se é ou não capaz de resolver um problema.

No que diz respeito à relação das experiências metacognitivas com o objectivo da tarefa, o modelo prevê que a formulação deste último é susceptível de induzir estados psicológicos (nomeadamente, experiências metacognitivas) tanto favoráveis como desfavoráveis à realização da tarefa. No último caso, o indivíduo pode, por exemplo, vir a reconhecer num dado objectivo actual um outro em que foi antes mal sucedido; é por isso natural experimentar dificuldades e bloqueamentos afectivos, conducentes, eventualmente, a falta de confiança ou mesmo desistência.

Os efeitos no processo de resolução de problemas são óbvios e imediatos. A consciencialização de que os esforços empreendidos não estão a resultar tanto pode activar de imediato mecanismos de remediação (lado positivo) como pode, também, dar origem a sentimentos bloqueadores ou inibidores da motivação (lado negativo).

- ***Conhecimento metacognitivo***. Pode conceber-se como aquela parte do nosso conhecimento sobre o mundo que tem a ver com as pessoas enquanto agentes cognitivos e com as suas tarefas, objectivos, acções e experiências. Desse modo, o *conhecimento metacognitivo* é, no fundo, o conhecimento declarativo ou processual que é activado na memória para orientar e regular a actividade cognitiva (Yussen, 1985). Flavell (1981, 1987) prevê as seguintes formas interactivas desse conhecimento:

  1. **Conhecimento de variáveis de tarefa**. Tem a ver com o conhecimento acerca do modo como a natureza e as exigências da tarefa influenciam a nossa forma de a enfrentar. A informação a processar pode ser abundante ou escassa, relevante ou irrele-

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

vante, familiar ou desconhecida, bem ou mal organizada; a tomada de consciência prévia dessas características irá necessariamente impor constrangimentos ao processo (Bråten, 1991a;; Flavell, 1987).

2. **Conhecimento de variáveis pessoais**. Refere-se ao tipo de conhecimento relacionado com o que os seres humanos são enquanto organismos cognitivos — e também afectivos, motivacionais, perceptivos, etc. É considerado uma faceta primordial da metacognição (Armbruster, Echols e Brown, 1982). Inclui: intuições acerca de aspectos intra ou interindividuais e universais, as quais ajudam a definir o conceito que temos de nós próprios e dos outros, e ainda o conhecimento das competências, das forças e fraquezas ou dos interesses que nos são peculiares enquanto sujeitos cognitivos. De acordo com Flavell, a mais interessante dessas características são as nossas crenças e convicções acerca da cognição humana — por exemplo, a intuição de que é limitada a nossa capacidade da memória operativa.

Por outro lado, um ponto importante a reter prende-se com a ideia que supostamente devemos ter construído da existência de diversos graus possíveis para a compreensão de um problema. É possível falhar-se essa compreensão por duas razões bem distintas: ter-se sido incapaz de construir uma representação coerente do problema; ou ter-se construído, sem que disso nos tenhamos apercebido, uma representação inadequada. Ambos os casos são improdutivos do ponto de vista da solução pretendida. A ambos correspondem *estados de ignorância* (total ou parcial), ainda

que em princípio diferentes. O segundo, porém, é ambíguo e, por isso, particularmente perverso, na medida em que gera um estado de satisfação idêntico ao que aconteceria se tivesse chegado à solução correcta.

Para muitos investigadores, a tomada de consciência desses estados de ignorância pessoais, ou seja, da distinção entre o que se sabe e o que não se sabe, é uma forma básica de metacognição, envolvida em todas as tarefas problemáticas (A. Brown, 1978). Holt (1982) retrata bem essa situação, conforme se pode inferir do extracto em baixo transcrito:

> Part of beeing a good student is learning to be aware of one's own mind and the degree of one's own understanding. The good student may be one who often says that he does not understand, simply because he keeps a constant check on his understanding. The poor student who does not, so to speak, watch himself trying to understand, does not know most of the time whether he understands or not. Thus the problem is not to get students to ask us what they don't know; the problem is to make them aware of the difference between what they know and what they don't. (pp. 16-17)

- ***Conhecimento de estratégias***. É o conhecimento dos meios mais adequados à consecução de determinados objectivos cognitivos, bem como da natureza, utilidade e aplicabilidade desses meios. Flavell distingue entre *estratégias cognitivas* propriamente ditas e *estratégias metacognitivas*. As primeiras asseguram o processamento cognitivo considerado em si mesmo; as segundas visam a monitorização desse processamento. Flavell justifica a inclusão (aparentemente paradoxal) das estratégias cognitivas no conhecimento metacognitivo, alegando que, embora de estatuto funcional-

mente cognitivo, podem originar comportamentos metacognitivos (por exemplo, experiências metacognitivas).

Uma estratégia cognitiva possível, por exemplo para a obtenção da soma de uma sequência de números, poderia ser a de os adicionar, por recurso a um algoritmo ou por simples cálculo mental. Na mesma situação, uma estratégia metacognitiva possível seria adicionar os números duas vezes, usando a mesma estratégia cognitiva ou outra diferente, com a finalidade de verificar se as respostas coincidiam ou não. Quer dizer: as estratégias metacognitivas servem para controlar a validade das estratégias cognitivas e dos seus produtos (os objectivos ou as respostas pretendidas); não visam o objectivo da tarefa mas a sua validação.

Análise Comparativa da Natureza das Duas Formas de Metacognição

Embora tenha sido Flavell o introdutor da metacognição, a maior parte dos autores prefere trabalhar com base no modelo de A. Brown, muito devido ao facto já mencionado de ele postular duas formas de metacognição diferenciadas (ainda que artificialmente, repita-se). Essa diferenciação, aliada a uma inerente depuração do conhecimento metacognitivo de Flavell das suas facetas executivas, constituiu um contributo valioso para o avanço da investigação metacognitiva.

Nessas circunstâncias, não admira que um grande número de autores tenha proposto como critério para avaliar o nível de funcionamento metacognitivo o grau de compreensão que se revela dos recursos associados a essas duas dimensões. Na perspectiva de A. Brown (1987) e, no fundo, de todos

aqueles que recorrem à técnica dos protocolos verbais como suporte das suas metodologias, a melhor forma que uma pessoa tem de evidenciar essa compreensão é ser capaz de relatar verbalmente os seus processos mentais.

Conhecimento metacognitivo. Aplicado às duas formas de metacognição, o critério anterior levou na prática à conclusão de que o conhecimento da cognição envolve usualmente um grau de compreensão mais elevado do que o controlo da cognição. Mais especificamente, o conhecimento da cognição é *passível de ser relatado verbalmente,* no sentido em que o indivíduo é capaz de reflectir sobre os mecanismos que o possibilitam, de tomar consciência deles e de os discutir com os outros.

A juntar à qualidade de ser verbalizável, o conhecimento da cognição tem sido caracterizado pela sua relativa *estabilidade* temporal — por exemplo, se um aluno tem hoje a convicção de que é capaz de aprender com mais facilidade, reformulando a informação nas suas próprias palavras, é muito possível que esse aluno mantenha essa convicção amanhã —; pela sua *falibilidade* — no sentido em que uma pessoa pode estar perfeitamente convencida de que conhece certos aspectos do funcionamento das suas funções cognitivas (da memória, por exemplo) os quais se vêm mais tarde a provar não ser verdadeiros; e, finalmente, por um *desenvolvimento comparativamente mais tardio* (Bråten, 1991a; A. Brown, 1987; Sinkavich, 1991).

Esse desenvolvimento mais tardio explica-se, em parte, pelo facto de o conhecimento que um indivíduo tem da metacognição implicar a sua capacidade de utilizar as próprias componentes cognitivas como objecto de pensamento abstracto e de reflexão. Ora, sabemos de Piaget, a abstracção reflexiva exige a formulação e testagem de hipóteses e, por isso, pensamento

operacional formal; nesse sentido, ela só será possível em plenitude a partir da adolescência.

Vygotsky, por seu lado, prevê que a abstracção reflexiva só se adquire a partir da altura em que ocorre aquela que para ele constitui a mudança crucial do desenvolvimento, ou seja, aquele momento em que o pensamento se torna verbal e a linguagem racional. Como antes referimos, Vygotsky prevê que essa mudança decisiva ocorre, em condições normais de socialização escolarizada, também no início da adolescência.

Embora outros autores (ex., Flavell, 1987) admitam manifestações mais precoces desse comportamento, raramente se atribui essa faculdade reflexiva às crianças mais novas e até a determinados adolescentes ou adultos — por exemplo, os privados de uma socialização satisfatória (A. Brown e DeLoache, 1978; Chiappetta, 1976; Costa, 1984; Robinson, 1983; Whimbey e Whimbey, 1975).

Controlo cognitivo. Esta segunda forma de metacognição reúne os mecanismos mentais a que as pessoas activamente recorrem para regular e modificar a progressão de uma actividade cognitiva, quando ela está de facto a ocorrer — por exemplo, quando se envidam esforços para resolver um problema novo.

Existe um grande número de estratégias de controlo metacognitivo, específicas das actividades em que se utilizam. A. Brown (1978) sugere, porém, uma lista de *estratégias metacognitivas* que, ao invés, poderão estar presentes em praticamente todo o tipo de actividades, possuindo, por isso, um considerável *grau de transferibilidade.* São particularmente importantes para a resolução de problemas as seguintes:

- **Planear**: conceber previamente um modo de procedimento mental.
- **Prever**: estimar, total ou parcialmente, o objectivo a atingir (a resposta ou respostas ao problema ou as consequências de determinados procedimentos intermédios).
- **Avaliar:** testar a validade das estratégias utilizadas e dos resultados obtidos antes de dar por concluída a tarefa.
- **Monitorizar**: manter um controlo constante da validade dos passos implementados e dos estados de conhecimento intermédios por eles gerados, relativamente aos objectivos a atingir.

Estas estratégias, que para Brown constituem "o cerne da resolução de problemas" e "a essência da inteligência", são, por isso, as que configuram o *modelo de resolução metacognitiva de problemas* proposto por essa autora e que passamos a explicitar:

1. Prever as limitações do sistema cognitivo sobretudo no que se refere às capacidades de memória.
2. Estar consciente do repertório de estratégias e heurísticas existentes na memória e da sua aplicabilidade.
3. Identificar e caracterizar o problema em jogo — relacionando-o, por exemplo, com problemas semelhantes.
4. Planear e programar estratégias de resolução adequadas.
5. Monitorizar e supervisionar a eficiência das estratégias e heurísticas postas em acção.

6. Avaliar essas operações, tendo em conta o sucesso ou insucesso das mesmas.

Os *mecanismos* associados ao controlo metacognitivo são considerados *relativamente instáveis* no tempo. Embora mais frequentemente utilizados por adultos, estes nem sempre o conseguem fazer; por outro lado, mesmo as crianças mais novas parecem poder executar actividades regulativas, desde que as tarefas sejam compatíveis com o seu nível de desenvolvimento (Bråten, 1991a). Além disso, *não são necessariamente verbalizáveis:*

> Knowing how to do something does not necessarily mean that the activities can be brought to the level of conscious awareness and reported to the others. (Brown, 1987, p. 68)

Bases Sociais da Metacognição: a Teoria da Internalização de Vygotsky como Referência

Piaget e Vygotsky podem, como já assinalámos, ser encarados como precursores da metacognição, particularmente no que diz respeito à componente do controlo ou regulação da cognição. O contributo do primeiro está sobretudo relacionado com a sua formulação do conceito de *auto-regulação biológica e cognitiva,* fundamental, a seu ver, para a explicação do desenvolvimento da criança.

Piaget (1976; A. Brown, 1987) distinguia três tipos principais de auto-regulação: *autónoma, activa* e *consciente.* Segundo ele, a progressão no desenvolvimento faz-se no sentido da primeira para a última, coincidindo esta com o aparecimento e consolidação das operações formais:

> Finally (...) (from 11 to 12 years) (...) the situation is modified in that cognizance [consciousness] begins to extend in a reflection of the thought itself. (...) The reason for this is the child's new power of elaborating operations on operations. (Piaget, 1976, pp. 352-353)

Mas, por importantes e decisivos que os processos de auto-regulação possam ser, não é possível ignorar que uma vertente importante da aprendizagem e do desenvolvimento ocorre na presença dos outros e é por eles fomentada. É assim que uma parte significativa dos trabalhos que têm ultimamente sido desenvolvidos sobre a influência dos outros na regulação da aprendizagem e na promoção do desenvolvimento tomam por referência a *teoria da internalização* de Vygotsky (1978, 1979; Brown e DeLoache, 1978).

Como vimos, é central nessa teoria a noção de que o controlo da cognição não é uma competência adquirida por herança genética ou como resultado de esforços activos mas solitários. Em vez disso, é algo que é comunicado à criança do exterior, através do diálogo e cooperação com outros mais competentes. A. Brown, analisando o pensamento de Vygotsky, fala mesmo em transferência de uma regulação assegurada pelos outros para uma regulação assegurada pelo próprio, com base num processo evolutivo de internalização da "consciência social". Esse pressuposto de que a consciência individual (metacognição) é socialmente determinada transparece claramente do seguinte excerto da obra de Vygotsky (1978):

> An essential feature of learning is that it creates the zone of proximal development; that is, learning awakens a variety of developmental processes that are able to operate only when the child is interacting with people in his environment and in cooperation with his peers. Once these processes are internalized, they become part of the child's independent developmental achievement. (p. 90)

Mas o que se passa com o desenvolvimento das competências metacognitivas passa-se, de modo idêntico, como vimos no ponto 2.3, com todas as outras funções psicológicas: começam por ter uma fase social (interpsicológica) para, passarem depois a uma fase individual (intrapsicológica).

Esta transformação da natureza das funções psicológicas — de processos elementares de cunho social em processos superiores de cunho individual — é uma das pedras-chave do sistema teórico global de Vygotsky. A ela obedecem todas aquelas funções, com especial destaque para as que se relacionam com a actividade simbólica e, dentro dela, para a linguagem humana, a qual ocupa um lugar preferencial naquele sistema. Também esta tem, por isso, um período ontogénico em que desempenha principalmente uma função externa (interpessoal ou comunicativa), para mais tarde se internalizar, passando, agora, a desempenhar também uma função interna (intrapessoal ou racional).

Ao mesmo tempo que segue esse percurso comum a todos as outras funções psicológicas superiores, a linguagem é, simultaneamente, o meio ou a "ferramenta" que ajuda a formar, organizar e desenvolver as outras funções cognitivas, com especial ênfase para o próprio pensamento (Vygotsky, 1986a, 1986b; Garnier, Bednarz e Ulanovskaya, 1991).

No seu nível de formação mais elevado, isto é, a partir da altura em que se interioriza, é ela que actua de forma a unificar e integrar muitos aspectos isolados do funcionamento cognitivo, tais como a percepção, a atenção, a memória ou a resolução de problemas. Com isso, o indivíduo passa a ser capaz de controlar e dirigir a sua própria cognição. Passa, enfim, a funcionar, cumulativamente, como sujeito e objecto do seu próprio comporta-

mento (Bråten, 1991b). A actividade cognitiva do indivíduo e a sua consciência individual são, por isso, socialmente determinadas por intermédio da linguagem. Dito de outra forma: decorre dos pressupostos de Vygotsky a conclusão de que as raízes da metacognição são, de facto, essencialmente sociais.

Metacognição: um Conceito Integrador da Resolução de Problemas

Propomo-nos analisar neste local em que medida tem ou não fundamento conceber a metacognição como uma categoria psicológica suficientemente extensiva e compreensiva, a ponto de, pelo menos em parte, ser capaz de subsumir aspectos importantes da literatura da resolução de problemas, trazendo, com isso, alguma unidade e integração a essa área investigativa delas tão carenciada.

Não é nossa pretensão encontrar argumentos susceptíveis de reforçar a opinião dos que pensam ser a metacognição uma redundância conceptual (um epifenómeno). Brown, reconhecida autoridade na matéria, teve, como assinalámos noutro local, a ocasião de, em devido tempo, refutar essa opinião. Queremos, isso sim, mostrar que, não sendo a metacognição um epifenómeno, ela era, contudo, "algo que já andava no ar" e que, chegado o *zeitgeist* exacto, irrompe decisivamente na psicologia, nomeadamente na do desenvolvimento. Apresentámos já, neste domínio psicológico, matéria factual que nos capacita a poder afirmar serem Vygotsky e Piaget, cada um

a seu modo, notáveis antecessores da metacognição, tendo, dessa maneira, contribuído decisivamente para o amadurecimento daquele *zeitgeist.*

Os antecedentes teóricos da metacognição não se limitam, no entanto, às contribuições, ainda que meritórias, desses dois autores. Cabe aqui especial referência aos valiosos contributos provenientes dos numerosos e por vezes dispersos estudos que, no campo específico da resolução de problemas, foram desenvolvidos nos anos que precederam a década de setenta, sobretudo após a Segunda Guerra. Alguns dos mais importantes foram, aliás, por nós descritos ou referenciados nas páginas antecedentes. Teremos ainda ocasião de destacar outros, como é o caso do clássico modelo heurístico de Polya (1973, 1981) para a resolução de problemas.

Mas, para além desses trabalhos iniciais, outros de relevo, que também referiremos, se foram desenvolvendo em paralelo com os estudos em metacognição sem, aparentemente, neles transparecer qualquer vínculo explícito a esse conceito. De todos eles, em maior ou menor grau, emergem conceitos ou outras entidades ontológicas que podem ser subsumidos pela abrangente e diferenciada nuvem conceptual que tem por núcleo o conceito de metacognição.

A breve *sinopse* que a seguir apresentaremos do *modelo componencial de inteligência* proposto por Sternberg tem, precisamente, o fim de dar solidez àquela convicção. Pensamos ser ele um modelo adequado à consecução do objectivo que perseguimos, particularmente devido ao facto de esse modelo postular uma relação explícita e indissociável entre os aspectos associados à resolução de problemas e as "componentes" metacognitivas da inteligência — ou "metacomponentes", conforme Sternberg (1985b) as designa.

Ao colocar a metacognição ao serviço da resolução de problemas, admitindo, desse modo, uma relação causal entre ambas as entidades, Sternberg dá uma contribuição inegável para clarificar os elos que ligam duas áreas da investigação de estatutos epistemológicos tantas vezes confundidos. Dada a relevância de algumas implicações pedagógicas, que Sternberg insere em conjunto com a descrição propriamente dita do modelo, julgamos oportuno e justificável incluir para já algumas dessas implicações, embora essa temática seja mais especificamente tratada no ponto subsequente.

O Modelo de Sternberg como Suporte Heurístico na Hipótese da Integração

O modelo de Sternberg (1985b) postula a existência de *cinco componentes* de inteligência distintas:

- ***Metacomponentes*** — são os processos executivos que utilizamos para planear, monitorizar e avaliar a resolução de problemas e, de modo geral, toda a nossa actividade cognitiva. Constituem, para Sternberg (1986) — tal como acontecia com A. Brown — um "ingrediente essencial da inteligência" (p. 92). Enquanto que as componentes (a seguir descritas) resolvem o problema, as metacomponentes "decidem" como eles são resolvidos e inclusivamente que problemas há a resolver.

- ***Componentes de realização*** — são os processos executores; implementam os planos e as decisões das metacomponentes.

- ***Componentes de aquisição*** — estão relacionadas com a aprendizagem de informação nova.

- ***Componentes de retenção*** — têm a ver com o armazenamento e reutilização de informação.

- ***Componentes de transferência*** — permitem utilizar os conhecimentos em contextos diferentes.

As *principais competências metacomponenciais* são, por sua vez, as seguintes:

1. ***Definição da natureza do problema.*** Para conseguir uma boa definição da natureza do problema, Sternberg sugere os seguintes procedimentos:

   - Ler repetidamente o enunciado, reconsiderando, se necessário, a questão colocada.

   - Verificar se o problema que se está a resolver é realmente o que o enunciado pressupõe.

   - Definir claramente o objectivo a atingir. A dificuldade de muitos problemas reside precisamente em não se conseguir essa identificação.

   - Redefinir os objectivos, se disso se sentir conveniência. É a reformulação do objectivo que vai promover intuições relativamente à estratégia a seguir. A dificuldade imposta por muitos problemas da vida real tem muito a ver com a incapacidade de se explicitar claramente os objectivos a atingir ou de os reformular sempre que for julgado conveniente.

2. ***Elaboração prévia de um plano geral de resolução.*** Trata-se de idealizar mentalmente um *procedimento sistemático* para tomar decisões e construir possíveis estratégias de acção, o qual deve prever os critérios na base dos quais essas decisões serão tomadas. Esse plano pode conter questões metacognitivas do tipo: Que passos seguir? Por que ordem? Quais os mais relevantes? Que critérios adoptar?

É, como vimos, um dos comportamentos metacognitivos especialmente relevados por A. Brown (1987). A autora faz mesmo questão de acentuar expressamente a sua importância. Refere, a propósito, o facto de os modelos de inteligência artificial se terem tornado cada vez mais poderosos, à medida que iam prestando maior atenção a este aspecto metacognitivo do pensamento. Julga ainda pertinente distinguir entre planificação antes da realização da tarefa e planificação durante essa realização. Esta distinção merece ser destacada, na medida em que permite acentuar a ideia, quantas vezes ignorada, de que a planificação metacognitiva de um problema não está circunscrita à fase preparatória, devendo antes ser uma preocupação constante do resolvente.

3. ***Construção de estratégias adequadas.*** Para resolver um problema, não basta escolher as componentes de processamento tidas por mais adequadas. É necessário combiná-las numa estratégia funcional. Como *critérios* fundamentais para a construção das estratégias metacomponenciais, Sternberg sugere os seguintes:

   - Assegurar-se de que se está a considerar o problema na sua globalidade. A investigação tem demonstrado que a resolução parcial constitui uma das principais fontes de erro na resolução de problemas.

   - Desconfiar do que é demasiado evidente: o problema parecer familiar e não o ser; pensar-se que um problema só se resolve "avançando"; ou seja, com uma estratégia progressiva — alguns problemas podem ser resolvidos "recuando", isto é, em função de uma estratégia regressiva.

4. ***Construção de uma representação mental do problema.*** Sternberg (1986) destaca a variabilidade que pode existir entre os indivíduos no tipo de representações que preferem utilizar. Julgamos impor-

tante enfatizar esta ideia, até pela relação que ela parece estabelecer entre os estilos pessoais (cognitivos, motivacionais ou outros) e a metacognição. Esta relação, ainda que aqui apenas aflorada, é mais um contributo para reforçar a linha de raciocínio que temos vindo a seguir, relacionada com a validação da hipótese que assumimos relativa à potencialidade integradora do conceito de metacognição.

Algumas *sugestões* para a construção de representações são assim formuladas por Sternberg:

- Conhecer o estilo de representação preferido.
- Utilizar, sempre que possível, várias formas de representação ou representações mistas. Fica-se assim mais apto a identificar e relacionar uma maior diversidade de aspectos do problema.
- Construir *representações externas* (diagramas, desenhos, gráficos, esquemas organizativos, equações matemáticas, palavras e frases relevantes, etc.).

5. ***Gestão de recursos***. É considerada por Sternberg a metacomponente mais importante na resolução de problemas. A sua eficiência será maximizada quando se utilizam comportamentos do tipo:
   - Estar disposto a gastar o tempo que for preciso em actividades de planeamento de estratégias. Muitos indivíduos cedem à tentação de iniciarem a resolução do problema sem que o tenham devidamente planificado, desperdiçando assim competências de que, eventualmente, até dispunham.
   - Lançar mão de todos os recursos disponíveis, mesmo daqueles que, à partida, parecem irrelevantes.
   - Manifestar flexibilidade de pensamento e disponibilidade para mudar os planos e as estratégias sempre que necessário — é tão importante ser ca-

paz de conceber estratégias e distribuir recursos, como ser capaz de as abandonar ou de fazer nova gestão desses recursos.

6. ***Monitorização do processo de resolução.*** Ao resolver problemas, muitas das decisões importantes são tomadas logo na fase inicial — decidir da natureza do problema, das estratégias a usar, do tipo de representação a construir, dos recursos a mobilizar, por exemplo. Sternberg faz lembrar que essas decisões iniciais não são, contudo, irreversíveis. Há, ao contrário, que as conceber como hipóteses de trabalho e estar pronto a modificá-las sempre que necessário. A tomada de decisões relevantes não está confinada a essa fase preparatória; tem de prosseguir até que o processo seja dado por concluído pelo resolvente.

   Para uma *monitorização eficiente* seria conveniente:

   - Tomar consciência da importância da monitorização e agir em conformidade com isso. O mais importante a ter em conta é a necessidade de modificar estratégias ou representações e de tomar as devidas e atempadas decisões.

   - Tomar consciência de que os esforços deliberadamente empreendidos não são esforços em vão. A esse propósito, Sternberg refere ter sido comprovado que o fenómeno que em psicologia se designa de "justificação do esforço" constitui um estímulo poderoso do pensamento e da acção individual.

   - Evitar ser impulsivo na supervisão dos passos realizados e na tomada de decisões que dão corpo à monitorização. Há que resistir à tendência de abandonar uma estratégia em que se investiu sem a ter analisado bem; é sempre possível ser o controlo de momento que não funcionou do que a estratégia em si.

Tendo em conta a *síntese* alargada que acabámos de apresentar do modelo componencial de Sternberg, e os inúmeros elos de ligação que dele emer-

gem no que diz respeito à relação da metacognição com a resolução de problemas, parece-nos indiscutível que a plausibilidade da hipótese que nos tem orientado acaba de encontrar algum reforço. Por outras palavras: o conceito de metacognição parece, com efeito, reunir potencialidades que o capacitam como conceito integrador da resolução de problemas, pelo menos de uma parte substancial dos seus aspectos estruturais e funcionais.

Um aspecto importante não era, todavia, explicitado naquela síntese: aquele que tem a ver com a componente afectiva do funcionamento psicológico, particularmente a sua vertente motivacional. Move-nos agora o objectivo de mostrar que também a essa vertente tem sido atribuída, sobretudo nos últimos anos, uma forte vinculação à metacognição.

Metacognição: um Conceito Evolutivo

Apesar de a metacognição ser usualmente definida como conhecimento e cognição acerca de qualquer coisa cognitiva, é o próprio Flavell (1987) a admitir que o significado do conceito pode perfeitamente ser ampliado, por forma a englobar qualquer coisa de natureza psicológica, não estritamente cognitiva. Admite, por exemplo, que se possa considerar metacognitivo o conhecimento que se tem acerca das nossas próprias emoções e sentimentos ou dos nossos próprios motivos. Qualquer tipo de monitorização psicológica poderá, segundo ele, ser considerada metacognitiva, incluindo a monitorização de competências psicomotoras.

Nessa perspectiva, Flavell (1987), questionando-se acerca do lugar ajustado à metacognição no campo da psicologia, dá ele próprio a resposta, admitindo que ela se localizará em zonas de interface com construtos como

processos executivos, operações formais, consciência, cognição social, auto-regulação, conhecimento reflexivo, autoconceito, eu psicológico. Dada essa diversidade de variáveis psicológicas com as quais a metacognição estabelece conexões, facilmente se compreende que o seu grande pioneiro lhe reserve um estatuto que ultrapassa largamente o domínio estrito da cognição.

Trata-se de uma questão que reputamos de importante, por duas razões essenciais: por um lado, pelo reforço que ela dá à nossa premissa de que a cognição, em geral, e a resolução de problemas, em particular, estão, para além dos constrangimentos que lhes são inerentes, condicionadas por outros factores psicológicos, especialmente afectivos e, dentro desses, atitudinais e motivacionais; por outro lado, porque ela nos permite talvez afirmar que a actual preocupação em ligar metacognição e motivação era uma ideia já presente em formulações que, como a de Flavell, deram origem ou, talvez mais correctamente, permitiram o renascer da metacognição.

Investigações recentes em metacognição sugerem que, à medida que os alunos aprendem a resolver problemas metacognitivamente, varia no mesmo sentido a sua capacidade de exercer controlo consciente sobre os seus mecanismos motivacionais (McCombs, 1991). Desta forma, e conforme já previa o modelo de Flavell, a metacognição pode considerar-se como um poderoso instrumento ao serviço da motivação, esta, afinal, a mola propulsora de qualquer comportamento activo e deliberado.

Estudos levados a cabo por Sinkavich (1991), em situação de sala de aula, parecem exactamente apontar para a existência de correlação entre medidas da metacognição (no caso vertente, metamemória) e da motivação. Os resultados recolhidos permitiram inferir serem ambas — pelo menos naquele

contexto particular — bons preditores do rendimento académico, incluindo-se nele o rendimento em resolução de problemas.

Mas qualquer tentativa de integrar motivação e metacognição defronta-se, necessariamente, com dificuldades compreensíveis, às quais não é seguramente alheio o facto de se tratar de duas tradições investigativas durante muito tempo vistas como independentes. Numa dessas tentativas, Salomon e Globerson (1987), pretendendo contribuir para a redução do fosso que existe entre aquilo que os alunos são potencialmente capazes de fazer e aquilo que realmente fazem, propõem um construto novo (*mindfulness*):

> The volitional, metacognitively guided employment of non-automatic, usually effortful processes. (p. 623)

Trata-se de um construto que pretende relacionar entre si os aspectos da motivação, da cognição (em particular da metacognição) e da aprendizagem. Nessa perspectiva, aqueles autores acham que são diversas as causas que levam um aluno a não conseguir actualizar (por exemplo, resolvendo problemas) o seu potencial cognitivo. Essa causas têm a ver com *factores cognitivos,* tais como deficiências de memória, aplicação incorrecta de heurísticas ou estratégias, *insuficiências metacognitivas, factores motivacionais* e *factores de personalidade* — ligados, por exemplo, a estilos de personalidade ou estilos cognitivos.

Julgamos que esta proposta teórica traduz, melhor do que qualquer outra, a via que hoje se prossegue, tanto no sentido de alargar o conceito de metacognição a todos os domínios psicológicos, como de a conceber como um conceito integrador, particularmente no que diz respeito ao campo prolixo da resolução de problemas.

Ensinar Metacognição ou Ensinar Metacognitivamente?

Possivelmente entusiasmados com a natureza apelativa do conceito de metacognição, alguns autores sugerem que a escola deve pôr a tónica no ensino de competências metacognitivas gerais, com algum desfavor das competências cognitivas. Alguns equívocos podem surgir de posições como essa.

Por um lado, como Vygotsky assinala, só se pode aprender a controlar funções psicológicas que já se adquiriram; quer dizer, há-de haver alguma fase da escolarização em que necessariamente a ênfase terá de ser posta nas competências cognitivas, obviamente um pré-requisito das metacognitivas.

Por outro lado, essas reivindicações parecem ter subjacente a proposta de a metacognição ser ensinada como um fim em si mesma. Ora, tendo em conta as considerações já aduzidas a propósito da discussão do modelo de Sternberg, pensamos que, ao invés de ensinada como tal, a metacognição deve ser pedagogicamente encarada como um meio para atingir um fim: aprender a resolver problemas com consciência metacognitiva. Essa perspectiva encontra apoio em autores como, por exemplo, Biggs (1988):

> Metacognitive" is better used as an adverb, the point being to teach cognitive skills "metacognitively", not to build a new "metacognitive curriculum". Metacognition is not an end state but a process. (p. 134)

Biggs consolida esta convicção a partir da análise e discussão dos resultados por ele obtidos num estudo experimental com duas turmas de alunos de 11.º ano e com uma turma de alunos do 1.º ano universitário (em risco de reprovação). Em ambos os casos, os alunos eram encorajados e ensinados a reflectir nos seus comportamentos, quando abordavam tarefas face às quais

sentiam especiais dificuldades. Por outras palavras, a intervenção consistia em levar os alunos a aprender a utilizar estratégias metacognitivas. Todas as três turmas evidenciaram ganhos significativos na sua competência para resolver problemas e outros tipos de tarefas cognitivas.

Este estudo parece, assim, indiciar a possibilidade de ensinar a resolver problemas metacognitivamente. Será isso um objectivo educacional necessário e viável? Ou será, antes, uma meta ideal, possível no campo dos pressupostos teóricos, mas dificilmente concretizável na prática, até porque uma parte significativa do conhecimento metacognitivo é conhecimento tácito e, por isso, difícil de comunicar aos outros?

Resolução Metacognitiva de Problemas: um Objectivo Educacional Relevante e Potencialmente Viável

Quanto a tratar-se de um objectivo educacional relevante, disso parece não restarem dúvidas. Na verdade, como muito bem assinalam Marzano et al. (1988), uma das competências fundamentais que se exige que as pessoas que entram no mundo do trabalho possuam é o conhecimento e controlo de si próprios, por forma a serem capazes de trabalhar autonomamente, em situações tantas vezes adversas.

Além disso, se pensarmos que muitos alunos não têm virtualmente uma ideia consciente de muitas das suas actividades (realizando-as mecanicamente) e que, frequentemente, não conseguem explicitar as suas estratégias de resolução de problemas, forçosamente haveremos de concluir que cabe à escola intervir, no sentido de remediar essas deficiências metacogni-

tivas (Costa, 1984). Isso implicará, como é óbvio, mudanças profundas nas práticas pedagógicas correntemente adoptadas.

Pensando agora na viabilidade teórica, é claro que ela deverá ser um pressuposto substantivo, implícito, ao menos, no pensamento dos investigadores em metacognição — doutro modo, não teriam, quiçá, abraçado esse campo da pesquisa social. Alguns deles, como Flavell ou Sternberg, chegaram mesmo a explicitar essa possibilidade. Flavell, por exemplo, declarou acreditar ser possível, na verdade, ensinar os alunos a utilizarem estratégias metacognitivas.

Quanto a Sternberg, basta olhar para a quantidade de recomendações didácticas por ele apresentadas, para concluirmos, praticamente sem margem para dúvidas, que ele há-de apoiar a referida viabilidade teórica. Podem ainda encontrar-se opiniões que convergem nesse sentido em obras como *Developing Minds* (Costa, 1985a) ou no artigo *Teaching Thinking in Europe* (McGuiness e Nisbet, 1991). O primeiro propõe-se estabelecer o estado da arte do ensino das competências intelectuais nos Estados Unidos; o segundo pretende atingir a mesma finalidade, agora na Europa.

Partilhando opinião idêntica, Fisher (1990) apresenta, por sua vez, alguns comportamentos que podem ajudar a desenvolver o controlo metacognitivo dos alunos:

- *Já pensei bem no que tenho de fazer?*
- *Já tentei arranjar um plano?*
- *Há mais alguma coisa de que precise antes de continuar?*
- *Que é que já sei que me possa ser útil?*

- E, finalmente, aquela que para o autor constitui como que a divisa de uma resolução de problemas metacognitivamente conduzida:

Stop and think! Think before you ink!

No que diz agora respeito a autores ou trabalhos que tenham procurado verificar se a referida viabilidade teórica tem ou não tido reflexos na prática, podemos, para além do já referido estudo de Biggs, ilustrar com outras intervenções de maior ou menor amplitude.

Quanto ao primeiro caso, refira-se, de passagem, o famoso *Productive Thinking Program* (in Chance, 1986), um curso americano cuja finalidade é ensinar os alunos a pensar e que propõe heurísticas para gerar e avaliar ideias. É objectivo do curso levar os alunos não só a produzirem ideias ou soluções mas também, ou sobretudo, a avaliar esses produtos — ou seja, a desenvolver pensamento metacognitivo.

No caso português, merece também destaque o *Projecto Dianoia,* desenvolvido pelo Departamento de Educação da Faculdade de Ciências de Lisboa; para além de intervenções concretas em escolas de ensino básico e secundário, deu origem a diversas publicações no âmbito da interface resolução de problemas-metacognição (Cruz, 1988, 1989; M. O. Valente et al., 1987, 1989a, 1989b, 1991a, 1991b; Morais, 1988; Novais, 1989; Salema, 1988).

Concluiremos esta argumentação, mencionando um dos estudos mais citados no campo do desenvolvimento da metacognição em ambiente escolar, estudo esse realizado por Baird (1986), na Austrália. O autor implementou

uma intervenção de tipo investigação-acção, ao longo de seis meses, que envolveu 64 alunos (de 9.° e 11.° anos) o seu professor e o investigador. O estudo tinha como principal objectivo treinar nos alunos hábitos metacognitivos que lhes permitissem adquirir um melhor controlo sobre e uma maior responsabilização pela sua aprendizagem. Os resultados obtidos indicaram a consecução efectiva dos objectivos propostos. Todos os alunos revelaram melhorias significativas no seu comportamento cognitivo, quer em dimensões declarativas quer processuais. Essa melhoria reflectia-se em diversos indicadores de sala de aula, particularmente num melhor comportamento na aula, em atitudes mais favoráveis para com a disciplina e a aprendizagem e em melhores rendimentos académicos.

O estudo baseava-se nos seguintes *pressupostos* teóricos, todos eles tocando o conceito de metacognição — no sentido de Flavell (1981) ou A. Brown(1987):

1. A aprendizagem é condicionada pelas decisões do aluno (perspectiva construtivista).

2. As insuficiências de aprendizagem devem-se a insuficiências correlativas nas tomadas de decisão que, por sua vez, estão associadas a deficiências como atenção impulsiva, atenção superficial, aplicação inapropriada de procedimentos, monitorização inadequada do processo cognitivo.

3. A aprendizagem ou a mudança conceptual exigem ambas esforços deliberados e dispêndio de energia.

4. Os alunos não estão, em geral, cientes das suas limitações cognitivas.

5. Uma consciencialização progressiva da natureza da aprendizagem produz mudanças significativas nas atitudes dos alunos para com a escola e as disciplinas e nos seus procedimentos.

Pareceu-nos relevante a inclusão destes princípios, nomeadamente por eles constituírem quase que uma síntese dos grandes princípios substantivos deste nosso trabalho, conforme o que antes deixámos antever.

DA MUDANÇA CONCEPTUAL AO APRENDER A PENSAR: UM LUGAR PARA A RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

3

3.1

A EPISTEMOLOGIA CONSTRUTIVISTA E A EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS: VIRTUALIDADES, DESVIOS E UM IMPASSE CHAMADO MUDANÇA CONCEPTUAL

> A major motivating force for human beings is their need to make sense of their world
>
> — *Head e Sutton.*

Retrato Teórico do Construtivismo

A epistemologia construtivista é considerada a epistemologia dominante entre os autores que trabalham no campo da educação em ciências (Matthews, 1992). Constitui, sobretudo nesse campo, e nas sugestivas palavras de Watts (1991), um "ismo" em crescente difusão[9].

Tal difusão potenciou interpretações e movimentações diversas; deu, assim, origem a uma panóplia de variantes — treze, de acordo com a análise de Matthews —, a qual confunde mais do que clarifica o que deve entender-se por construtivismo. A utilização indiscriminada da palavra "construtivismo" tem implicado, na verdade, algumas actuações que desvirtuam na prática o significado profundo dessa palavra. Tais actuações têm servido de bandeira a abordagens que, ao invés de corrigirem os defeitos do movi-

[9] Difusão que, em parte, é justificada pelo carácter apelativo das premissas construtivistas, particularmente pelo que elas representam de contraponto às teses condutivistas, em psicologia, e às teses empiristas, em filosofia.

mento precedente (o da aprendizagem por descoberta), virado para o primado dos processos sobre os conteúdos, acabam por, à força de querer combater essa dominância dos processos, cair no extremo oposto, negligenciando (ou ignorando) agora estes em total favor dos conteúdos.

Ora, o conhecimento é a um tempo conteúdo e processo, é figurativo mas também operativo. Qualquer abordagem que ignore ou distorça esse pressuposto será necessariamente uma abordagem redutora. Um tal reducionismo não emerge, por certo, do espírito de uma epistemologia construtivista global.

Pode acontecer que algumas epistemologias construtivistas, muito por necessidades heurísticas, se tenham debruçado mais sobre uma vertente do conhecimento que sobre a outra — por exemplo, a de Piaget mais focalizada para o conhecimento processual ou a de Ausubel mais preocupada com o conhecimento declarativo. Todavia, uma coisa são as necessidades e opções que fatalmente se têm de colocar ao nível da investigação; outra, bem distinta, é aquilo que se joga ao nível pedagógico. Aí, começamos a lidar com seres globais, não preferencialmente declarativos ou processuais, mas simultânea e dialecticamente declarativos e processuais; aí, só uma epistemologia global ou a conjugação sinergética de duas epistemologias complementares farão sentido.

Não obstante alguns desvios, como os que anteriormente apontámos, é inegável que a "vaga construtivista" acabou por se revelar determinante como motor suplementar da "mudança epistemológica" de que falávamos na capítulo 1. Só por isso se justificariam as palavras que nas páginas seguintes iremos dedicar ao construtivismo. Mas outras justificações podem ser e serão aduzidas. Como tentaremos demonstrar ao longo do trabalho, são in-

questionáveis as implicações dos pressupostos, das formulações e dos estudos construtivistas para a resolução de problemas.

Bases Filosóficas do Construtivismo: Kant uma Referência Fundamental

O construtivismo e as opções por algumas das suas variantes encontram-se fundamentados em trabalhos relativamente recentes, como os de von Glasersfeld (1987, 1988), Novak (1987), Driver (1986) e muitos outros. Cabe a von Glasersfeld o mérito de ter explicitado os princípios básicos da corrente construtivista, princípios esses que andavam já no ar, em formulações como as de Piaget, Ausubel ou Kelly. Os dois grandes *princípios* enunciados por aquele autor como suporte do construtivismo são os seguintes:

1. *o conhecimento não é passivamente recebido, mas activamente construído pelo sujeito cognoscente;*

2. *a cognição desempenha uma função adaptativa, ao serviço da organização do mundo experiencial.*

Estes pressupostos de partida têm para já importantes *implicações pedagógicas e metodológicas* (Castro e Fernandez, 1987; de Jong e Fergusson-Hessler, 1986; Driver e Oldham, 1986; Fergusson-Hessler e de Jong, 1991):

- O interesse do investigador (e, até certo ponto, do educador) deve incidir sobre os mecanismos que ocorrem internamente na mente do aluno, e não exclusivamente sobre as manifestações externas desses mecanismos.

- O conhecimento não pode ser transferido directamente da mente do professor para a do aluno, através da comunicação verbal entre ambos; ao contrário, a comunicação verbal deverá ser encarada como uma ferramenta que ajuda e orienta o processo de construção de conhecimento pelo aluno.

- Aquilo que se aprende numa dada situação depende tanto da situação em si mesma como das estruturas de conhecimento (materiais ou formais) que se possuam (do conhecimento prévio); a aprendizagem formal envolve sempre um aluno aprendiz, construindo (Osborne e Wittrock, 1983, diriam "gerando") o seu conhecimento pessoal ("privado") de alguma parte do conhecimento científico ("público").

- O professor deve ter constantemente em vista que os alunos são sujeitos activos, empenhados continuamente em encontrar significado para as estimulações do seu mundo experiencial, e não meros receptores passivos, simplesmente regulados por essas estimulações.

- Nessa procura activa e motivada de significados, interessam não só as respostas correctas dos alunos, mas também (e, às vezes, sobretudo) os seus "erros" e desvios; como assinala von Glaserfeld, são esses erros e desvios que melhor permitem elucidar o professor sobre os modos próprios que o aluno está a utilizar na sua construção do mundo. Como que se preconiza, assim, uma espécie de "psicologia [ou pedagogia] do erro" que, ao invés de o penalizar, o desmistifica, o valoriza pedagogicamente e o compreende:

> Muitas vezes me tenho impressionado com o facto de os professores de ciências, mais ainda, se isso é possível, do que os outros, não compreenderem que não se compreenda. Muitos poucos são aqueles que investigaram a *psicologia do erro* [itálico nosso], da ignorância e da irreflexão. (Bachelard, 1984, p. 168)

Estas considerações assumem particular pertinência no caso da resolução de problemas, uma vez que é aí, por razões óbvias, que mais se propicia o surgimento do erro e onde, exactamente por isso, ele é mais penalizado pelas práticas educativas habituais.

Como exemplo extremo, estamos a lembrar-nos do comportamento daqueles professores que, face à resolução de um problema por um aluno numa prova, são capazes de o penalizar, pelo simples facto de esse aluno ter errado a computação da resposta numérica final, apesar de, admitamo-lo, ter conseguido explicitar raciocínios intermédios adequados.

Estamos também a lembrar-nos daqueles professores que, na sala de aula, sistematicamente ignoram ou depreciam (por actos ou posturas) as respostas erradas ou incorrectas dos alunos, privilegiando sempre as respostas correctas, ainda que estas se limitem, como muitas vezes acontece, a um concludente (e pouco informativo) "sim"/"não".

O florescimento actual das filosofias construtivistas tem muito a ver com as dúvidas levantadas quanto à possibilidade de acesso ao mundo objectivo tal como ele é (Kuhn, Lakatos, Feyerabend). O construtivismo adopta, assim, *posições subjectivistas* que, não negando a existência do mundo real, rejeitam, contudo, a possibilidade de a ele se aceder cognitivamente. Fica reservada ao sujeito apenas a possibilidade de aceder ao mundo tal como

ele é percebido, isto é, ao mundo dos fenómenos e das representações subjectivas.

Trata-se de um pressuposto que era já nuclear na obra de Kant. Na verdade, analisando os princípios gerais construtivistas antes enunciados por von Glasersfeld, facilmente se concluirá que esses princípios podem, na verdade, ser derivados da obra do grande filósofo. Com efeito, uma das teses centrais do construtivismo, a de que o sujeito é o responsável — em última análise, o principal responsável — pelo seu próprio conhecimento, é, simultaneamente, uma assunção nuclear na filosofia kantiana. Aquilo que Kant designa como a sua "revolução copernicíana" constitui, precisamente, uma mudança radical no papel que é conferido ao sujeito no processo de conhecer: de espectador mais ou menos passivo, o sujeito passa a protagonista, a actor. Mas nada melhor do que as palavras do próprio Kant (1989) para elucidar até que ponto essa mudança foi, de facto, radical e decisiva em termos da teoria do conhecimento:

> Não podendo [Copérnico] prosseguir na explicação dos movimentos celestes enquanto admitia que toda a multidão de estrelas se movia em torno do espectador, tentou [ver] se não daria melhor resultado fazer antes girar o espectador e deixar os astros imóveis. Ora, na metafísica, pode-se tentar o mesmo, no que diz respeito à intuição dos *objectos*. Se a intuição tivesse de se guiar pela natureza dos objectos, não vejo como deles se poderia conhecer algo *a priori* ; se, pelo contrário, o objecto (enquanto objecto dos sentidos se guiar pela natureza da nossa faculdade de intuição, posso perfeitamente representar essa possibilidade. (p. 20)

Quer dizer: Kant vem imprimir uma *viragem epistemológica* (e psicológica) fundamental: o *locus* de controlo da construção do conhecimento é transferido do domínio do objecto para a esfera de acção do sujeito; é o sujeito que passa a regular o conhecimento dos objectos e não os objectos a imporem o "seu" conhecimento ao sujeito. Neste sentido, a filosofia kan-

tiana é nitidamente uma filosofia construtivista. Os "materiais de construção" (palavras de Kant) são para ela os dados da sensibilidade e da imaginação (ou seja, o mundo tal como ele aparece) e os instrumentos os conceitos puros *a priori,* como é o caso das categorias[10].

Bases Psicológicas do Construtivismo: Duas Psicologias Construtivistas Complementares

Os pressupostos da psicologia construtivista (ou das psicologias construtivistas, para sermos mais precisos) são, no essencial, e com as devidas adaptações, os que subjazem à filosofia construtivista kantiana (Driver e Oldham, 1986). É assim que Piaget — primeiro psicólogo a utilizar de forma consistente a noção de construção cognitiva —, partindo de uma posição assumidamente kantiana, se propõe analisar os mecanismos através dos quais o ser humano, tendo acesso apenas aos dados da sensibilidade e às suas representações e estruturas mentais prévias, consegue construir um mundo experiencial (subjectivo) relativamente estável e relativamente coerente. Ao focalizar a sua atenção nas operações e estruturas de pensamento, o construtivismo piagetiano é um construtivismo de natureza essencialmente formal. É uma epistemologia mais virada para o conhecimento operativo ou processual do que para o conhecimento figurativo ou declarativo.

---

[10] Kant vem, assim, reagir ao empirismo de Locke e Hume e dar, em certos aspectos, continuidade ao trabalho de Leibniz. Locke advogava um empirismo que atribuía unicamente aos sentidos a origem das ideias. É dele a metáfora da mente como *tabula rasa,* metáfora essa já ilustrada anteriormente.

De acordo com Piaget, os mecanismos construtores do conhecimento têm por suporte alguns processos gerais que determinam todo o desenvolvimento e que podem ser assim caracterizados:

- O desenvolvimento cognitivo é comparável ao desenvolvimento orgânico: ambos têm subjacente uma "marcha para o equilíbrio", ou seja, uma "passagem perpétua" de um estado de menor equilíbrio para outro estádio de equilíbrio superior.

- Do ponto de vista funcional, ou seja, tendo em conta os motivos (ou motores) gerais que orientam a conduta e o pensamento, existem *funcionamentos constantes* (ou "invariantes") comuns a todos os indivíduos e a todas as idades. Em todos os níveis de desenvolvimento, a acção pressupõe sempre uma motivação que a activa e sustenta; em todos eles, a inteligência procura compreender e explicar os fenómenos.

- Mas, se funcionalmente se pode falar em continuidade entre a criança e o adulto, do ponto de vista das estruturas, isto é, das formas de organização da actividade mental, já isso não acontece. As experiências e as análises teóricas de Piaget levaram-no, de facto, a postular, a esse nível estrutural, a existência de descontinuidades. Essas descontinuidades encontram-se reflectidas na sequência discreta dos estádios de desenvolvimento, os quais reflectem a diferenciação progressiva mas descontínua da forma de pensamento do recém-nascido à forma de pensamento do adulto.

Esse conjunto de estádios, para além da ordem fixa por que se sucedem, possui ainda outras *propriedades invariantes* no decurso do desenvolvimento:

- Cada estádio "é, ao mesmo tempo, o resultado das possibilidades abertas pelo precedente e condição necessária do subsequente" (Piaget, 1987, p. 17); ou, dito de outro modo, o estádio "superado é sempre integrado no superante".

- Por outro lado, o funcionamento cognitivo tem sempre subjacente um outro processo geral que se inicia no "intra-objectal" (na análise descritiva dos objectos), passa pelo "inter-objectal" (pelo estudo das relações e transformações) para terminar no "trans-objectal" (na construção de estruturas integradoras).

Essas três fases são de natureza funcional e não estrutural. São, nesse sentido, comuns a todos os níveis de desenvolvimento e não características de apenas alguns deles; são, se se quiser, "inerentes a toda a construção" (Piaget, 1987, p. 172). A generalidade dessa tríade constitui para Piaget "o melhor argumento a favor de uma epistemologia construtivista" (p. 40), até porque, na sua opinião, nem o empirismo nem o apriorismo serão capazes de a explicar completamente.

Além disso, comparando o processo de construção psicológica do conhecimento com o estudo histórico da construção do conhecimento científico, Piaget concluiu que os mecanismos consubstanciados por aquela tríade se revelavam como o mais geral dos aspectos comuns a ambos os processos.

Há que dizer, porém, que o paralelismo que Piaget estabelece entre aqueles dois processos de construção não é um paralelismo total — ao contrário do que muitas vezes surge referenciado. Trata-se de um paralelismo de tipo essencialmente funcional e não um paralelismo ao nível, por exemplo, dos conteúdos e produtos dessas construções.

Convém, no entanto, referir que, de acordo com a análise histórica de Piaget, é possível identificar "uma analogia surpreendente" entre o conteúdo de algumas noções do pensamento de uma criança de sete ou oito anos (ou de mais, acrescentaríamos nós) e certas noções da teoria medieval do *impetus*. O autor considera isso bastante compreensível, uma vez que se trata de conceitos de algum modo pré-científicos. Seria, diz Piaget (1987), "absurdo procurar generalizar um tal paralelismo de conteúdos no caso das teorias propriamente científicas, como as que surgiram entre a mecânica newtoniana e a relatividade einsteiniana" (p. 38).

Ao preocupar-se simultaneamente com o desenvolvimento histórico (a sociogénese) e com o desenvolvimento psicológico (a psicogénese) do conhecimento, pode dizer-se que o construtivismo piagetiano é a um tempo uma epistemologia social e individual. É social, na medida em que admite que a progressão da ciência é influenciada por "normas socialmente estabelecidas", ou seja, pelos paradigmas vigentes — paradigmas, no sentido de Kuhn, a que, por razões a seguir explicitadas, Piaget prefere chamar "paradigmas sociais"; é individual ou psicológico, na medida em que estabelece que essa progressão é também influenciada pela "maneira natural de considerar a ciência num determinado período por todo o indivíduo que a ela se abra, sem imposições exteriores explícitas" (Piaget, 1987, p. 231). A essa maneira natural de considerar a ciência — "parte inerente do saber aceite e que se transmite com ele, tão naturalmente quanto se transmite a linguagem falada ou escrita de uma geração para a outra" — a ela chama Piaget "paradigma epistémico", por oposição a "paradigma social".

A construção do conhecimento (tanto no sentido psicológico como sociológico) é, por isso, determinada pela acção conjunta de "paradigmas sociais" e "paradigmas epistémicos", ou seja, de "quadros epistémicos", no-

ção piagetiana que engloba os dois. E, enquanto Kuhn faz corresponder às revoluções científicas uma mudança de paradigma (leia-se, paradigma social), Piaget associa-lhe uma mudança mais profunda, a de quadro epistémico.

Um outro ponto importante a reter do construtivismo de Piaget, e já implicitamente contido nas considerações precedentes, é a sua assunção da existência de um certo tipo de "*continuidade* no desenvolvimento do sistema cognitivo, desde a criança até aos homens de ciência, passando pelo adulto normal" (Piaget, 1987, p. 241).

E dizíamos certo tipo de continuidade, dado que ela apenas se verifica no plano funcional da cognição, ou seja, ao nível dos grandes princípios gerais motores do desenvolvimento, e não no plano estrutural ou operativo. Aí prevalece a descontinuidade, consignada na própria hipótese dos estádios. E como é este aspecto da obra de Piaget o mais conhecido (e, talvez por isso, o mais criticado, também), compreende-se que Piaget seja, muitas vezes, conhecido como um descontinuísta, à semelhança de Kuhn, com as suas mudanças radicais de paradigma, e de Bachelard, com as suas inexoráveis rupturas epistemológicas.

Do primeiro, já dissemos em que medida Piaget dele diverge; quanto ao segundo, aproveitamos as próprias palavras de Piaget (1987) para apontar as coincidências e divergências entre ambos:

> G. Bachelard considera que existe uma "ruptura" total entre as concepções pré-científicas e científicas, ao mesmo tempo que identifica como maior obstáculo epistemológico o irracionalismo pré-científico. Nós próprios cremos que existe uma maior continuidade entre o pensamento pré-científico e o científico, na medida em que *os mecanismos em jogo no processo cognitivo são os mesmos* [itálico nosso] (...) Podemos aceitar com facilidade que se trata de uma ruptura

> mas no sentido de uma mudança do quadro epistémico [não uma ruptura total, mas sociológica e ideológica]. (p. 234)

O construtivismo de Piaget é, como dissemos, um construtivismo essencialmente formal. Está, por isso, preferencialmente virado para os aspectos gerais da construção cognitiva (para as estruturas e operações de pensamento) e não tanto para os aspectos específicos (conteúdos do pensamento). Aí se localizam as principais dissonâncias entre a perspectiva de Piaget e a de Ausubel, outro psicólogo largamente influente no desenvolvimento das abordagens construtivistas, em conjugação com o seu discípulo Novak.

Ausubel começa por aceitar a tese piagetiana de que a forma de pensar é condicionada por determinadas estruturas lógicas que evoluem descontinuamente, com base numa sequência de estádios qualitativamente diferentes. Aceita, também, a distinção que Piaget estabelece entre conhecimento figurativo e conhecimento operativo. Mas, enquanto Piaget coloca o conhecimento figurativo (os conteúdos específicos) na dependência do operativo (das estruturas e operações gerais), Ausubel defende a posição contrária: tende a subordinar o conhecimento operativo ao figurativo. E, enquanto os esquemas de Piaget são puramente esquemas formais, os de Ausubel (as suas "estruturas cognitivas") são essencialmente materiais: incorporam tanto os conteúdos específicos como as suas estruturas organizativas (M. E. Santos, 1991).

É assim que, como pré-requisito para a construção do conhecimento, os dois autores se vão posicionar em pontos de partida diferentes:

- Piaget estabelece como *factor determinante* no processo de aprendizagem e construção de novos conhecimentos o *nível de desen-*

volvimento cognitivo atingido pelo sujeito: os seus esquemas e operações lógicas, aplicáveis a qualquer conteúdo.

- Ausubel, ao contrário, postula como *factor decisivo* o papel das *estruturas cognitivas,* isto é, a organização lógica dos conteúdos específicos e a natureza desses mesmos conteúdos:

> If I had to reduce all of educational psychology to just one principle, I would say this: the most important single factor influencing learning is what the learner already knows. Ascertain this and teach him accordingly. (Ausubel in Ausubel et al., 1978, p. iv)

Está implícita, em qualquer dos modelos construtivistas que apresentámos, a ideia — levada à sua essência pura nos conceitos *a priori* de Kant — de que o conhecimento prévio é uma condição *sine qua non* para a aprendizagem e construção de novos conhecimentos, nomeadamente do conhecimento científico (Ausubel et al., 1978; Piaget, 1987, 1990; Piaget e Inhelder, 1993; Pines e West, 1986).

Isso é válido tanto para o conhecimento processual (ver, por exemplo, Piaget) como para o conhecimento declarativo (ver, por exemplo, Ausubel). No que diz respeito ao primeiro caso, fundamentámos já, de alguma maneira, a nossa afirmação, quando discutimos a influência da variável desenvolvimento cognitivo na resolução de problemas. Será, pois, a interacção entre o conhecimento declarativo prévio dos alunos e o conhecimento científico que norteará a nossa actuação nas próximas linhas.

Conhecimento Espontâneo e Conhecimento Científico: Ruptura ou Interacção Dialéctica?

De acordo com Vygotsky (1986a, 1986b) — e, em certo sentido, com Piaget —, é útil discriminar *duas formas distintas do conhecimento prévio* de um aluno. A elas correspondem, respectivamente, *dois tipos de conceitos* :

1. os conceitos que o aluno assimila naturalmente, através da sua interacção com o meio — *conceitos espontâneos*;

2. os conceitos que o mesmo aluno adquire de uma maneira formal e sistemática, geralmente através da intervenção da escola — *conceitos científicos.*

Para chegar a essa classificação, Vygotsky estudou profundamente a psicogénese dos conceitos espontâneos e dos conceitos científicos. Concluiu que tanto uns conceitos como os outros experimentam um *longo e complexo processo de desenvolvimento,* não sendo, por isso, assimilados numa forma definitiva e acabada: têm uma "história interior" ao indivíduo.

Vygotsky baseou o seu trabalho numa metodologia experimental, ao tempo inovadora, a qual se preocupava preferencialmente com toda a dinâmica do processo de desenvolvimento e não tanto, como vinha sendo hábito, com o seu produto final, isto é, com definições abstractas. É assim que essa metodologia assenta numa perspectiva em que um conceito é concebido não como uma figura estática mas como uma entidade dinâmica em contínua transformação (Vygotsky, 1986):

> A concept is not an isolated, ossified, and changeless formation, but an active part of the intellectual process, constantly engaged in serving communication, understanding and problem solving. (p. 98)

A tentativa de investigar as concepções prévias (espontâneas e intuitivas) dos alunos encontra, por isso, plena justificação na teoria de Vygotsky. Mas, é preciso dizê-lo, muito do que na prática se tem feito nesse sentido e no campo da educação em ciências, tem-se, frequentemente, resumido à identificação de conceitos espontâneos já formados, ou seja, dos produtos finais do processo de desenvolvimento desses conceitos.

Esse não era, contudo, o objectivo preferencial de Vygotsky, muito mais interessado na dinâmica da formação. Parece, assim, que algo se encontra ainda por fazer no que toca a esta questão da formação dos conceitos espontâneos e da sua interacção dinâmica com os conceitos científicos; o que se fez incidiu apenas num dos lados da questão.

Vygotsky: um Construtivista Eclético

A noção vygotskiana de conceito — algo que implica uma participação mental activa do sujeito que o constrói e algo que se encontra em constante devir —, essa noção, dizíamos, está em perfeita sintonia com o construtivismo, em geral, especialmente (como veremos mais à frente) com as teses de Kelly (1963, 1991).

Desse modo, não parece de estranhar que, apesar de Vygotsky ter escapado à "vaga construtivista" — devido ao facto de a sua obra só recentemente estar a ser descoberta no mundo ocidental —, comecem a surgir autores que lhe atribuem esse rótulo. Por nós, embora achemos que os rótulos são o

menos importante e são, até, condicionadores na exploração dos diversos pontos de vista de um autor, julgamos que essa atribuição tem perfeito cabimento. Atrever-nos-íamos, inclusivamente, a apelidá-lo de *construtivista social.* Mas expliquemos porquê.

Vimos já que uma das máximas do construtivismo, o papel activo do sujeito na construção do seu próprio conhecimento, está presente na formulação vygotskiana. Quanto ao papel do conhecimento prévio (declarativo ou processual) na construção do conhecimento novo (outra das máximas construtivistas), basta-nos analisar, por exemplo, o modo como Vygotsky se refere às transformações que ocorrem por volta da adolescência, para podermos também chegar a uma conclusão nesse sentido.

Com efeito, diz o autor que, mau grado as mudanças profundas que levam à emergência do pensamento adolescente, as estruturas que então se formam não são na sua essência funcionalmente diferentes das estruturas pré-existentes; antes resultam da incorporação destas numa nova síntese, numa nova estrutura. Significa isto que, à semelhança do que acontecia no construtivismo piagetiano, também em Vygotsky "o superante integra sempre o superado e nele se apoia". E isso aplica-se tanto ao aspecto processual do conhecimento, como ao seu aspecto material (aos conteúdos).

Na verdade, as transformações profundas ocorridas no dealbar da adolescência (para manter o mesmo exemplo) referem-se quer ao início do desenvolvimento de "processos psicológicos superiores", nos quais se inclui o controlo metacognitivo, quer ao início da fase de consolidação dos "verdadeiros conceitos", os conceitos científicos.

Porém, aquelas transformações só poderão ocorrer nessa altura se alguns requisitos forem cumpridos. O mais importante tem para Vygotsky, como

já assinalámos, um cunho social e cultural. Ao contrário de Piaget, que concebia o desenvolvimento cognitivo e a aprendizagem como processos autónomos, sem interacção mútua significativa, Vygotsky toma posição radicalmente distinta. Via a aprendizagem, particularmente a aprendizagem escolar, como decisiva para o desenvolvimento. Defendia que, para haver desenvolvimento, o ensino que a escola proporciona deve preceder esse desenvolvimento, funcionando como seu estimulador, seu motor e condutor. E o ensino que a escola proporciona, bem como toda a educação em geral, pressupõem em Vygotsky o diálogo e a cooperação da criança com os outros; pressupõem, no fundo, interacção social. É essa interacção social que possibilita à criança o verdadeiro desenvolvimento, que lhe permite ser amanhã mais competente e autónoma do que é hoje.

Em síntese: o pensamento de Vygotsky parece enquadrar-se perfeitamente na matriz construtivista; corresponder-lhe-á um *construtivismo global e dialéctico,* na medida em que conjuga as duas componentes do conhecimento e as coloca em interacção. É, além disso, social, dada a importância que atribui ao papel da sociedade, com especial destaque para o da escola, no desenvolvimento conceptual e processual do aluno.

Conhecimento Espontâneo e Conhecimento Científico: o que Neles é Diverso

Por todas essas razões, julgamos existirem no pensamento de Vygotsky potencialidades que lhe permitem, pelo menos ao nível dos fundamentos, contribuir para a superação de algumas das limitações das escolas construtivistas até aqui dominantes: a de Piaget, por um lado, e a de Ausubel, por outro.

Retomando agora o rumo inicial, ou seja, a distinção entre conhecimento espontâneo e conhecimento científico, convém, para já, dizer que, em Vygotsky, essa distinção não deve ser percebida como implicando uma dicotomia ou um antagonismo total. Com efeito, se é verdade que o autor diferencia claramente as duas categorias de conceitos, é igualmente verdade que releva também os mecanismos de interacção entre eles.

No que toca ao que neles é diverso, Vygotsky começa por acentuar que lhes correspondem duas formas distintas de pensamento. Querendo estudar-se o pensamento conceptual da criança na sua plenitude, há assim que investigar o modo característico como cada categoria se desenvolve.

As especificidades do desenvolvimento de cada tipo de conceitos são as seguintes:

- Na medida em que forem proporcionadas ao aluno experiências de ensino e aprendizagem adequadas, os conceitos científicos desenvolvem-se mais rapidamente do que os conceitos espontâneos correspondentes.

- Os conceitos científicos, por beneficiarem de ajuda sistemática e cooperação social (com o professor), seguem, em geral, um percurso que vai do abstracto ao concreto, das definições verbais à realidade fenomenológica; os conceitos espontâneos, por não poderem tirar partido daquela ajuda e cooperação, vão do concreto ao abstracto.

- Por razões respectivamente idênticas ao que acontecia no caso anterior, os conceitos científicos desenvolvem-se a um nível de com-

preensão mais consciente (mais metacognitivo) do que os espontâneos.

> Reflective consciousness comes to the child through the portals of scientific concepts. (...) In operating with spontaneous concepts, the child is not conscious of them because his attention is always centered on the object to which the concept refers, never on the act of thought itself. (Vygotsky, 1986a, p. 171)

Os pontos fortes de um dos tipos de conceitos são, em geral, pontos fracos do outro e vice-versa. A verdadeira natureza dos conceitos científicos estimula a sua utilização deliberada, facto que constitui uma vantagem relativamente aos conceitos espontâneos e uma fraqueza destes. Inversamente, ao carácter concreto e ligação à realidade dos conceitos espontâneos — o que pode constituir um ponto a seu favor — corresponde um elevado "verbalismo" dos conceitos científicos, ou seja, um elevado grau de abstracção, com consequente distanciamento em relação à realidade.

Mas essa maior ligação dos conceitos espontâneos à realidade concreta, isto é, à experiência, pode transformar-se numa sua desvantagem. Sempre que deles se pede uma definição, é mais difícil ao sujeito formulá-la do que no caso dos conceitos científicos. Dado que os conceitos espontâneos estão, como diz Vygotsky, "saturados de experiência", um conceito espontâneo evoca na mente do aluno todo um longo e extenso historial, muito mais restrito no que diz respeito aos conceitos científicos.

De acordo com Sutton (1980), o *significado* de uma palavra não se resume a uma definição verbal que dela se consiga formular; tem sobretudo a ver com "o conjunto de todas as conexões" que, a partir dessa palavra, se conseguem estabelecer com outras coisas que se conhecem. A esse conjunto de conexões (algumas delas afectivas em natureza) chama Sutton o *signifi-*

cado conotativo da palavra e Vygotsky o *sentido* que essa palavra tem para a pessoa em causa.

Pode distinguir-se o significado conotativo do *significado denotativo,* o qual Vygotsky designa simplesmente por "significado". Este está sobretudo relacionado com o "núcleo lógico central", constituído pelas relações mais importantes que emergem dessa palavra; corresponde ao cerne do significado conotativo ou do sentido de uma palavra.

Do ponto de vista psicológico, é o significado conotativo ou o sentido que importa considerar em primeiro lugar. É ele, até pela sua natureza também afectiva, que norteará o funcionamento cognitivo, relativamente a um dado conceito. Quanto mais extenso ele for, mais difícil será encontrar uma boa síntese, compatível com as limitações de uma definição verbal; essa dificuldade afecta, na verdade, sobretudo os conceitos espontâneos, tanto pelo que antes acabámos de expor, como pelo facto de eles se formarem a um nível relativamente mais automático.

Mudança Conceptual: Onde a Ruptura Prevalece

Mas o que estivemos a dizer sobre os conceitos científicos e os conceitos espontâneos serve sobretudo para ilustrar o que neles é diverso. Essa é sempre a parte mais fácil da percepção cognitiva. É, aliás, o próprio Vygotsky a lembrar-nos que "a tomada de consciência da diferença precede sempre a tomada de consciência da semelhança".

Falávamos antes de eventuais *sinergias* entre o conhecimento espontâneo e o conhecimento científico. Ora, esse é precisamente um dos aspectos em que Piaget e Vygotsky inicialmente mais se distanciavam[11] .

Ao considerar o conhecimento espontâneo e o conhecimento científico característicos, respectivamente, do pensamento infantil e do pensamento adulto, Piaget excluía praticamente qualquer interacção entre ambos. Para que a criança se desenvolvesse, ou seja, para atingir o pensamento amadurecido do adulto, interessava irradicar o conhecimento espontâneo e substituí-lo pelo científico. Aqui Piaget punha em acção a sua faceta descontinuísta e aproximava-se, nesse aspecto, da perspectiva mais radical de Bachelard (1984):

> Nós conhecemos *contra* [itálico nosso] um conhecimento anterior, destruindo conhecimentos mal feitos, ultrapassando aquilo que, no próprio espírito, constitui um obstáculo à espiritualização. (p. 165)

Dificilmente deixaremos de ver afinidades entre essa postura de Bachelard e a de muitas abordagens que se reclamam de construtivistas: aquelas que, mais do que tudo, se empenham na "destruição" daquele conhecimento espontâneo que não é compatível com o conhecimento científico. Agem no pressuposto de que tal conhecimento só traz desvantagens, e na convicção de que, não sendo fácil destruí-lo, é contudo possível. Admitem que os custos inerentes a essa possibilidade são bem compensados com os ganhos educativos que daí poderão advir.

---

[11] Numa fase mais avançada do seu trabalho, muito tempo decorrido após a morte de Vygotsky, Piaget (1986) veio a declarar a sua aproximação às teses vygotskianas, no que a essa questão diz respeito.

Pode mesmo afirmar-se que, na prática, por uma razão ou por outra, a tendência vai, de facto, no sentido de depreciar, subestimar e até ignorar o conhecimento espontâneo e de estabelecer entre ele e o conhecimento científico descontinuidades totais (Pines e West, 1986).

Tal depreciação e subalternidade encontram-se reflectidas em rótulos a ele atribuídos como, por exemplo, *conhecimento ingénuo, teorias ingénuas* ou *concepções erradas* (*"misconceptions"*). A utilização do termo *misconceptions* é típica de autores americanos; na Europa, esse termo (ou outro equivalente) não terá tido tanta divulgação. Contudo, seja pelo facto de a influência americana ser marcante, seja por convicção própria, muitos trabalhos europeus reflectem posturas idênticas, na base de designações diversas (por exemplo, *concepções alternativas* ou *referenciais alternativos*), designações essas que, à partida, não potenciariam tais posturas (Gilbert e Watts, 1983).

Esse estatuto de menoridade que muitas vezes tem sido atribuído ao conhecimento espontâneo dos alunos tem, em consequência, dado origem a alguns equívocos pedagógicos e educativos e, também, a alguma controvérsia, logo a começar pela questão de "saber o que fazer" às *concepções espontâneas* (ou às *misconceptions,* conforme o prisma de análise) dos alunos.

Ilustrando essa controvérsia, Gil Pérez e Carrascosa (1990), numa análise extensiva da literatura, identificam várias posições:

1.ª A posição dos que advogam que não há nada a fazer. É, por exemplo, o caso de Preece (1984) que, partindo de uma posição de tipo inatista, rejeita que essas concepções espontâneas sejam apenas derivadas da experiência (tanto perceptiva como linguística);

ou sejam justificadas (como o faz Solomon, 1983) apenas com base no facto de elas estarem profundamente enraizadas na sociedade. Apresenta, então, uma explicação alternativa: essas concepções não são construídas a partir da experiência, mas activadas por ela (são, nessas condições, *a priori* ou inatas).

2.ª A posição dos que defendem que não nos temos de preocupar com elas. É essa, pelo menos, a opinião de investigadores como J. McClelland (1984), o qual apoia ideias completamente opostas às de Preece. Para este autor, os alunos não têm referenciais conceptuais alternativos: a razão fundamental para as suas *misconceptions* tem a ver com questões de "desconcentração ou falta de atenção estratégicas".

Apesar de diversas, as duas posições anteriores conduzem, no fundo, a perspectivas metodológicas similares: o conhecimento formal deve ser ensinado a partir de si mesmo.

3.ª Posição bem diferente é a daqueles autores que assumem que o conhecimento espontâneo é um conhecimento adquirido por interacção social. Aqui podem ocorrer duas posturas diametralmente opostas:

- a dos que reconhecem o carácter construído do conhecimento espontâneo, mas negam a influência desse conhecimento na aprendizagem do conhecimento científico — tese empirista radical ou ingénua;

- a dos que, admitindo o carácter construído do conhecimento espontâneo, reconhecem, também, que esse conhecimento in-

fluencia a aprendizagem do conhecimento científico e até o desenvolvimento; duas variantes são neste caso de considerar:

a) *conhecimento espontâneo como algo a irradicar,* enquanto se substitui pelo conhecimento científico formal (Gil Pérez, 1983; Gil Pérez e Carrascosa, 1990; Novak, 1987; Posner et al., 1982);

b) *conhecimento espontâneo como algo a transformar* (sistematizar e consciencializar) — essencialmente, a tese vygotskiana.

Modelo da mudança conceptual. Particularmente influentes têm sido as propostas dos autores que advogam estratégias de intervenção didáctica assentes no *modelo da mudança conceptual,* segundo o concebem, por exemplo, Posner et al. (1982). Tais propostas são baseadas no pressuposto de que muitas das dificuldades no ensino e na aprendizagem das ciências têm a sua origem no conhecimento que os alunos já adquiriram antes da instrução e na ignorância desse conhecimento por parte dos professores. Halloun e Hestenes (1985b) tentaram mesmo construir uma taxonomia de conhecimento de senso comum em mecânica para ajudar os professores a terem isso em conta.

O modelo da mudança conceptual assenta em bases epistemológicas contemporâneas, nomeadamente nas que se relacionam com as perspectivas de autores como Kuhn, Lakatos ou Toulmin. Está, assim, fundado no pressuposto de que existem duas fases diferenciadas no desenvolvimento do conhecimento científico:

1. Em condições normais (em períodos de *ciência normal,* como diria Kuhn) o trabalho científico é realizado e balizado tendo como pano de fundo um conjunto de assunções centrais, conjunto esse que define os problemas (ou mais propriamente os *puzzles*) a resolver, as estratégias a utilizar e os critérios a aplicar na validação dos processos e produtos dessas estratégias. Esse conjunto de assunções corresponde ao que Kuhn designa de *paradigma* (ou melhor, a uma das acepções kuhnianas de paradigma) ou ao que Lakatos apelida de *programa de investigação.*

2. A segunda fase da mudança (e das grandes e decisivas transformações) ocorre quando aquelas assunções nucleares exigem modificação, ou seja, quando se verifica a necessidade de *mudança de paradigma* ou de *mudança de programa de investigação.* Aí o cientista é confrontado com um desafio aos seus comprometimentos epistemológicos básicos. Para que a investigação possa prosseguir, o cientista terá de ser capaz de adquirir novos conceitos, novas formas e novos métodos de olhar o mundo. A isso corresponde uma mudança radical, designada por Kuhn (1970b) de *revolução científica* e por Lakatos (1974) de *mudança de programa de investigação.*

Posner et al. (1982) crêem que *algo de semelhante ocorre no processo de aprendizagem das ciências.* Também aí identificam esses autores duas fases essenciais:

1. Uma que designam de *assimilação,* a qual, em termos epistemológicos, encontra paralelo nos períodos de ciência normal.

Corresponde ela a situações em que os indivíduos utilizam conceitos pré-existentes para lidar com os fenómenos observados.

2. Outra, por eles designada de *acomodação* — é notória a inspiração em Piaget —, a qual ocorre sempre que os conceitos actuais são inadequados para o aluno lidar com e explicar os fenómenos. Nesse caso, o mesmo aluno "terá de substituir ou reorganizar" profundamente os seus conceitos nucleares, a sua "ecologia conceptual". No paralelismo encontrado por aqueles autores entre desenvolvimento científico e aprendizagem das ciências, esta "fase mais radical" da mudança conceptual corresponde à revolução científica, em Kuhn, ou à mudança de programa de investigação, em Lakatos; a expressão "mudança conceptual" reporta-se, em geral, a esta mesma fase.

Mudança Conceptual como Meta para a Educação em Ciências: Realidade ou Utopia?

É natural que a primeira preocupação dos autores que tomaram o modelo da mudança conceptual como paradigma tenha sido a de verificar a exequibilidade de tal modelo. Conseguirão os alunos construir conhecimento científico capaz de tomar o lugar das suas concepções espontâneas? Alguns resultados experimentais, por exemplo os obtidos por Hewson e Hewson(1984), parecem, na verdade, sugerir que uma estratégia de aprendizagem baseada no modelo da mudança conceptual é susceptível de levar os alunos a essa consecução. Há que realçar, contudo, que, segundo o testemunham os investigadores, não foi sem dificuldades que foram conseguidos os ganhos evidenciados. Dificuldades que são também

reconhecidas e salientadas por autores como D. Brown e Clement (1991), Shuell (1987) ou Guidoni (1985).

Brown e Clement (1991), para reforçarem a sua impressão de que é na verdade difícil ajudar os alunos a conseguirem mudança conceptual profunda — particularmente em áreas como a mecânica —, realizaram um estudo de sala de aula, em dois anos consecutivos, examinando dois tópicos, o de gravidade e o de inércia. Verificaram que, no primeiro ano, não ocorreram diferenças significativas entre o grupo experimental e o de controlo; só no segundo ano, e após terem sido introduzidas reformulações profundas na estratégia de intervenção, é que se verificariam ganhos significativos para o caso do grupo experimental.

Domenech, Gil Pérez e Martínez Torregrosa (1989) corroboram essa acentuada dificuldade, frisando que ela é, de facto, especialmente verdade em áreas como a mecânica, em que as experiências primárias são mais intensas e reiteradas, e em que a metodologia de senso comum produz concepções intuitivas, que são compartilhadas pela maioria dos indivíduos e gozam de um amplo consenso no que toca ao seu poder explicativo.

Posner et al. (1982) justificam essa dificuldade com o facto de essas concepções não existirem isoladas, antes fazerem parte de uma certa "ecologia conceptual", metáfora que permite explicar a dificuldade manifesta de substituir isoladamente as concepções espontâneas arreigadas. Hodson (1985) afirma, mesmo, que é necessário evitar as visões mais simplistas que levam a pensar que os paradigmas, as teorias ou, inclusivamente, as boas hipóteses se abandonam devido a uns poucos resultados negativos; na sua perspectiva, todo o nosso sistema de suposições há-de ser confirmado ou destruído em conjunto pela experiência.

Nessas condições, para superar os processos cognitivos e as estratégias de assimilação "naturais" dos alunos, não bastaria usar estratégias de mudança conceptual em aspectos pontuais. Seria necessário que os conhecimentos se estruturassem em corpos coerentes, capazes de substituir, de um modo global, as ideias alternativas iniciais.

Guidoni (1989), por seu lado, considera que a mudança conceptual exige que a ciência escolar experimente um câmbio de paradigma, susceptível de converter a actual "transposição didáctica do saber" numa "dinâmica didáctica", capaz de assegurar a adequação progressiva entre estruturas de pensamento e estruturas da disciplina, no decurso dos muitos anos de escola. É sua convicção que o verdadeiro "obstáculo epistemológico" reside, muitas vezes, mais na própria estrutura tradicional, inflexível e opaca de apresentação da disciplina (por exemplo, na estrutura newtoniana em mecânica) do que nas *concepções erradas* dos que aprendem ou tentam aprender.

Em suma: é comum à série de trabalhos que acabamos de analisar a convicção de que a mudança conceptual, sobretudo em mecânica, é um empreendimento cheio de escolhos e dificuldades. Gil Pérez e Carrascosa (1990) defendem, porém, que há uma via que pode atenuar ou contornar esses obstáculos: essa via é aquela em que os alunos são levados a construir o conhecimento científico, segundo moldes paralelos aos que os próprios cientistas utilizaram (ou utilizam) para o construir. Proclamam a existência de um isomorfismo entre o processo de investigação científica (de tipo popperiano) e a aprendizagem significativa da ciência, apoiando-se em trabalhos como os de Piaget, Posner et al. (1982), Gil Pérez (1983), Saltiel (1987) e Novak (1987).

Desse ponto de vista, seria possível compreender a dificuldade da mudança conceptual profunda; seria ela equivalente ao que historicamente corresponde a mudar de paradigma, ou seja, a ocorrer revolução científica. Efectivamente, segundo os autores, a semelhança entre as ideias intuitivas dos alunos e as ideias científicas pré-clássicas não pode ser acidental, mas corresponder a uma forma idêntica de abordar os problemas.

E é fácil de mostrar que tanto as crianças como os trabalhos pré-clássicos abordam os problemas de forma muito semelhante, forma essa que Gil Pérez e Carrascosa (1985) designam de "metodologia da superficialidade" (Champagne, Gunstone e Klopfer, 1985a; Minstrell, 1982; Halloun e Hestenes, 1985a, 1985b; Hewson, 1985; Whitaker, 1983). Como contraponto à *metodologia da superficialidade,* os autores propõem uma metodologia científica que tem no *modelo de resolução de problemas como investigação* o seu expoente máximo.

Pese embora a diferenciação quanto às metodologias preconizadas — explicitação de concepções prévias, "ecologia conceptual", "dinâmica didáctica" com formalização progressiva e coerente, metodologia científica —, as perspectivas anteriores parecem ter em comum os seguintes pressupostos:

- A mudança conceptual, ou seja, a substituição do conhecimento espontâneo pelo conhecimento científico, é uma das finalidades principais, se não a finalidade principal, do ensino das ciências e, em particular, do ensino da física.

- Todos os esforços didácticos devem, desse modo, convergir no sentido de levar os alunos a essa mudança.

- O conhecimento espontâneo carece de valor formativo ou educativo; há, assim, que o ignorar ou combater, sempre que ele possa colidir com o conhecimento científico.

À Procura de Sinergias: para uma Reabilitação do Conhecimento Espontâneo

É possível, no entanto, olhar para a interface conhecimento espontâneo/conhecimento científico de uma outra perspectiva. E essa perspectiva é a que emerge do pensamento de Vygotsky. Vimos já que, enquanto Piaget via ambos os conceitos como integrando sistemas completamente independentes, Vygotsky, ao contrário, concebe-os como dois subsistemas de um mesmo sistema global, partilhando algumas características comuns:

> He [Piaget] fails to see the interaction between these two types of concepts and the bond uniting them into a total system. (Vygotsky, 1986a, p. 154)

Quer dizer: a uma ruptura, de inspiração bachelardiana, Vygotsky contrapõe uma relação dialéctica, caracterizada pela unidade na diversidade:

> They are parts of a single process: the process of concept formation, which is affected by varying external and internal conditions but is essentially a unitary process, not a conflict of antagonistic, mutually exclusive forms of thinking. (p. 157)

Aludimos já a sinergias que Vygotsky vê em acção nessa interface. É chegado o momento de as clarificar e fundamentar, ou seja, de reabilitar o conhecimento espontâneo, no que toca ao seu papel no desenvolvimento, na comunicação entre os indivíduos e na própria aprendizagem do conhecimento científico.

Para caracterizar tais sinergias, isto é, para identificar o tipo de relações que o levam a rejeitar a existência de antagonismo entre o conhecimento espontâneo e o conhecimento científico, Vygotsky recorre a uma interessante e profícua *analogia* : a que o autor percebe entre a aprendizagem de uma língua materna e a de uma língua estrangeira, por um lado, e a formação de conceitos espontâneos e de conceitos científicos, por outro. Trata-se de uma analogia que, não sendo total, não se restringe também, apenas e só, a meras semelhanças superficiais.

Na verdade, para Vygotsky, tanto o desenvolvimento da linguagem como o desenvolvimento de conceitos são formas distintas de um mesmo processo: o desenvolvimento do *pensamento verbal.* Por outro lado, as condições externas imprescindíveis ao desenvolvimento de uma língua estrangeira e dos conceitos científicos são praticamente coincidentes: em ambos, a educação formal, sistemática e cooperativa, desempenha uma função capital. Por essas razões, Vygotsky encontra justificação para que, quanto mais não seja como hipótese de trabalho, tenha sentido transpor para o binómino conceito espontâneo-conceito científico relações identificadas no binómio língua materna-língua estrangeira.

A aprendizagem de uma língua estrangeira depende do conhecimento da língua materna, na medida em que a primeira utiliza e se apoia na semântica da segunda; da mesma forma se poderá admitir que o conhecimento científico se constrói, tendo por base mecanismos e até conteúdos do conhecimento espontâneo. Nessas circunstâncias, a construção do conhecimento científico é levada a cabo através da mediação do conhecimento espontâneo.

> Though scientific and spontaneous concepts develop in reverse directions, the two processes are closely connected. The development of a spontaneous concept must

> have reached a certain level for the child to be able to absorb a related scientific concept. (Vygotsky, 1986a, p. 194)

A dependência recíproca é menos conhecida. Vygotsky pensa, todavia, que também ela é de admitir como relevante:

> Scientific concepts, in turn, supply structures for the upward development of the child's spontaneous concepts toward consciousness and deliberate use. (p. 194)

Para o fundamentar, começa por lembrar Goethe (1992):

> Quem não sabe línguas estrangeiras não sabe nada da sua própria. (p. 41)

Vygotsky alude a vários estudos experimentais que permitiram justamente concluir que a aprendizagem de uma língua estrangeira favorece, com efeito, a compreensão da língua materna. A criança torna-se mais consciente e deliberada na utilização das palavras da sua língua materna, como ferramenta de pensamento e como meio de exprimir as suas ideias. Antes, dado o carácter espontâneo e automático da aprendizagem da língua materna, não sentiu a necessidade de o fazer.

Resumindo: tal como a aprendizagem de uma língua estrangeira ajuda a tomar consciência das estruturas e componentes da língua materna, assim também a aprendizagem dos conceitos científicos ajuda a tomar consciência dos conceitos espontâneos. É conjugando essa ideia com o facto de os conceitos científicos se desenvolverem, em condições adequadas, mais depressa do que os conceitos espontâneos, que Vygotsky atribui aos primeiros a função de "guia propedêutico" na formação dos segundos.

Os conceitos científicos têm, assim, uma função educativa importante: a de levar os alunos a tomarem consciência e, por isso, a criticarem a validade do seu conhecimento espontâneo. Visto só desta forma, pareceria, então,

legítima a missão a que se propõem os adeptos do modelo da mudança conceptual: interessaria identificar os conceitos espontâneos, levar à sua consciencialização, para depois mais facilmente os substituir. Só que estamos perante um argumento claramente falacioso:

- Primeiro, porque os conceitos espontâneos, por serem fruto de um desenvolvimento longo, natural e activo, não são assim tão fáceis de "abandonar": tornam-se estruturais, endógenos e, o que é mais, relativamente automáticos.

- Segundo, porque tal como os conceitos científicos têm um papel importante no desenvolvimento dos conceitos espontâneos, nomeadamente na sua tomada de consciência e na sua maior generalização, também os conceitos espontâneos desempenham um papel importante no desenvolvimento dos conceitos científicos. Tal como a língua materna é o *medium* na base do qual a língua estrangeira é assimilada, também os conceitos espontâneos constituem um *medium* na base do qual os conceitos científicos se desenvolvem:

> There is the mediative role played by the native language and by spontaneous concepts. A foreign word is not related to its object immediately, but through the meanings already established in the native language; similarly a scientific concept relates to its object only in a mediated way, through previously established concepts. (Vygotsky, 1986a, p. 197)

Isso é óbvio no caso de os conceitos espontâneos estarem em sintonia com os conceitos científicos; servem-lhe de âncora. Mas, ainda no caso de estarem em oposição (caso das "concepções alternativas" ou das *misconceptions*), ainda assim, eles podem ser úteis, quanto mais não seja porque entre um conceito científico e um espontâneo (alternativo) existe, pelo menos,

uma identificação potenciadora de comunicação: ambos se referem ao mesmo facto ou fenómeno. Não fora essa identificação e, tal como pensa Kelly (1963, 1991), a comunicação entre o professor e o aluno não seria possível: faltariam ao aluno as estruturas da sua "língua conceptual natural" que lhe pudessem servir de ponto de apoio.

Recapitulando: a diferenciação que Vygotsky estabelece entre o conhecimento espontâneo e o conhecimento científico não pressupõe qualquer juízo de valor favorável ou desfavorável a qualquer um deles: ambos têm os seus pontos fortes e os seus pontos fracos. Por outro lado, a relação que o autor vê entre eles não é uma relação unívoca mas uma interacção biunívoca, da qual ambas as categorias de conhecimento colhem proveito mútuo.

Podemos, assim, afirmar que o conhecimento espontâneo sai da conceptualização de Vygotsky imune a qualquer subvalorização. Esse não será, como vimos, o estatuto que lhe é normalmente atribuído em muitos trabalhos que se assumem construtivistas. Aí a tendência vai no sentido da depreciação ou completo esquecimento da existência do conhecimento espontâneo. A adopção de pressupostos vygotskianos exige a reabilitação desse conhecimento. São os sinais indiciadores dessa reabilitação que analisaremos já a seguir.

A Crise do Modelo da Mudança Conceptual

Começam, na verdade, a surgir autores preocupados em valorizar a importância da obra de Vygotsky e a conferir um novo estatuto ao conhecimento espontâneo (Garnier, Bednarz e Ulanovskaya, 1991; McGuiness e Nisbet, 1991; Schneuwly e Bronckart, 1985).

Apoiados em G. Bernard Shaw — que afirmava que a sua educação havia sido interrompida pela sua escolarização —, Pines e West (1986) fazem uma caracterização do conhecimento espontâneo, formulada de modo tal que não parece deixar dúvidas quanto à sua intenção deliberada de lhe dar tal estatuto. Descrevem, assim, o conhecimento espontâneo como aquele que constitui o "sistema de concepções da criança" acerca do mundo e da forma como ele funciona; a sua realidade, algo em que ela acredita. Em tom algo depreciativo (mas compreensível, neste contexto) falam do conhecimento científico ou formal, como representando "a interpretação dos outros acerca do mundo", "a realidade dos outros"; além disso, "é correcto", "é o que os livros dizem, é aquilo que os professores pregam do seu púlpito" (p. 106).

Os mesmos autores fazem questão de acentuar que não devemos ficar "chocados nem divertidos" com as concepções dos alunos; devemos, antes, "ficar maravilhados com as capacidades criativas" que a construção dessas concepções implica.

Um outro autor que aponta no sentido da reabilitação do conhecimento espontâneo é o italiano Guidoni (1985). Guidoni lidera em Itália um projecto que visa justamente desenvolver o conhecimento científico dos alunos, em particular de alunos do ensino básico, a partir da exploração de sinergias entre esse conhecimento científico e as concepções espontâneas desses alunos (Arcà, Guidoni e Mazzoli, 1990).

À diversidade de rótulos atribuídos ao conhecimento espontâneo — o autor fala em nove —, Guidoni prefere a designação *pensamento natural,* utilizando "natural" não em oposição a "artificial" (ou mesmo a "não natural"), mas no sentido em que o termo aparece em "linguagem natural" (ou língua

materna). É notória, nesse aspecto, a sintonia entre Guidoni e Vygotsky. Tal sintonia sai mesmo reforçada quando, à semelhança de Vygotsky, aquele autor concebe o pensamento natural como uma entidade "não separável de uma estrutura funcional complexa", algo que não podemos pôr de parte para "ver o que é que sem ele acontece" (Guidoni, 1985, p. 134).

Gilbert, Osborne e Fensham (1982) — e também Fensham (1980) —, por sua vez, fortemente apoiados em Kelly, decidem também enfatizar a positividade do conhecimento espontâneo, designando-o por "ciência dos alunos", distinguindo-a da "ciência dos professores" e da "ciência dos cientistas". Consideram que a "ciência dos professores" se estende por toda uma gama que vai de uma zona próxima da "ciência dos alunos" à "ciência dos cientistas". Quer dizer, onde outros vêem rupturas, vêem estes autores continuidade.

A percepção da continuidade tem, contudo, sido a excepção. Com efeito, uma longa tradição de pensamento e várias linhas de investigação em didáctica das ciências (com especial incidência na física) têm contribuído para sublinhar sobretudo as diferenças, nomeadamente as que existem entre a "ciência dos alunos" e a "ciência dos professores", ou as que diferenciam os modos de pensamento do aluno faces aos modos de pensamento dos professores (Viennot e Kaminski, 1991).

Mas se a ênfase na diferença encontra justificação no argumento de que, por exemplo, na "ciência dos alunos" predominam concepções alternativas e nas dos professores concepções formais, esse argumento cai por terra face aos resultados de alguns estudos empíricos realizados com os próprios professores. Salvaguardando o facto de a evidência experimental que apresentam não possuir uma carácter "muito ortodoxo", devido a uma certa re-

sistência dos professores em serem alvo de investigações em que têm de pôr a claro as suas ideias, os autores desses estudos concluíram que, obviamente com menor incidência, os professores intervenientes evidenciavam concepções alternativas idênticas às dos alunos (Godoy e París Espinosa, 1989).

Se, porém, a descontinuidade aluno-professor se referir não tanto ao conhecimento declarativo, mas ao conhecimento processual (a modos de pensamento), mesmo aí existe evidência de que é mais prudente colocar como hipótese a continuidade do que a descontinuidade mas nunca a ruptura. Na verdade, Viennot e Kaminsky (1991) realizaram um estudo com professores de física no qual comprovaram que, tal como os alunos, esses professores revelavam tendência para os seguintes modos de pensamento: utilização de estratégias de "redução funcional" no tratamento de problemas com várias variáveis (uma relação, por exemplo entre três variáveis, era tratada ignorando uma delas); recurso ao "raciocínio linear causal". Consideram ambas como manifestações daquilo que designam de "pensamento natural" ou "pensamento espontâneo".

Parece assim haver razões para pensar que não será a proclamada fissura entre o conhecimento científico e o conhecimento espontâneo a impedir a reabilitação deste último. Mas os exemplos para nós paradigmáticos da mudança de atitude que, paulatinamente, se tem vindo a verificar relativamente aos construtos pessoais dos alunos, encontramo-los nas seguintes situações:

1. Primeiro, num artigo de um grupo de autores americanos (Steinberg, Brown e Clement, 1990), artigo esse sugestivamente intitulado: *Genius is not immune to persistent misconceptions:*

conceptual difficulties impeding Isaac Newton and contemporary physics students. O próprio título do trabalho dá logo a entender a intenção manifesta dos autores (ver p. 272. por exemplo) em encararem a existência de *misconceptions* como um fenómeno natural, ao qual, por isso mesmo, não são (ou não foram) imunes os grandes cientistas.

Essa intenção é tanto mais significativa quanto acontece provir ela de investigadores que antes assumiam uma perspectiva menos favorável relativamente às concepções dos alunos, por eles exactamente apelidadas de "erradas". Mas o indicador mais forte dessa mudança de atitude encontramo-lo numa nota (em jeito de ressalva) que os autores decidem incluir a propósito da utilização que fazem do termo "misconception":

> In this paper we use the term "misconception" to designate any conception that is in conflict with classical mechanics as it is understood today. We wish to avoid attaching any negative connotation to the term since such naive conceptions can be complex, creative, and adaptative constructions of mind. (p. 273)

Esta preocupação em evitar "qualquer conotação negativa do termo" e em fazer ressaltar o carácter "complexo, criativo e adaptativo" dessas construções mentais é, por si só, sintomática.

Querendo frisar a naturalidade das *misconceptions,* o grupo de investigadores salienta, nomeadamente, a persistência (de 1664 a 1685, pelo menos) na formulação newtoniana de uma das concepções mais comuns nos alunos: a de que um corpo em movimento tem sempre e necessariamente associada a si uma força (um *impetus*) que lhe é imanente. Quer dizer: segundo a leitura que fazem

da obra de Newton, parece aos autores que a ideia de *impetus* terá permanecido, com efeito, como um conceito viável no pensamento do grande cientista, ao longo de cerca de duas décadas. Mas nada melhor do que as palavras do próprio Newton (in Steinberg, Brown e Clement, 1990) para o ilustrar:

> I call that by which a body (...) endeavors to persevere in its motion in a right line the force of a body or the force inherent in a body. By its inherent force alone, every body procedes uniformly in a right line to infinity unless something extrinsic hinders it. (p. 268).

A força como algo que influencia o movimento de fora para dentro foi, desse modo, uma ideia que, só numa fase já relativamente avançada do seu percurso, Newton veio a consagrar. Tal noção, mesmo em Newton, teve antes de ser alvo de um prolongado processo de desenvolvimento! Ou seja: a mudança conceptual, a esse respeito, e no que se refere à pessoa de Newton, não aconteceu: foi acontecendo.

2. O segundo exemplo fomos encontrá-lo num testemunho de Rosalind Driver e do seu grupo. É sabido que esta equipa de investigação, sediada em Leeds, Inglaterra, constituiu, sobretudo na Europa, o grande motor do "movimento das concepções alternativas" ou dos "referenciais alternativos", produzindo um vasto repertório de artigos, relatórios e outras obras (Clough e Driver, 1986; Driver, 1981, 1983, 1986, 1987; Driver e Easley, 1978; Driver e Erickson, 1983; Driver e Oldham, 1986.

Pugnavam inicialmente esses investigadores por abordagens que, apesar de preconizarem a identificação do conhecimento espontâneo e de o tomarem como ponto de partida para a aprendizagem

do conhecimento formal, tinham como finalidade principal a sua substituição.

Terão, por isso, tido alguma influência no rumo que aquele movimento acabaria por vir a tomar, nomeadamente na sua quase transformação em ideologia, e na sua tendência em fazer ressaltar a negatividade do conhecimento espontâneo dos alunos (ou, pelo menos, de algum dele). Não deixa, assim, de ser curioso que, já numa fase avançada do seu trabalho, essa equipa tenha considerado pertinente incluir num dos artigos publicados — referente à avaliação do seu projecto —, a passagem que em baixo transcrevemos. As palavras nela contidas são por si mesmas bastante esclarecedoras, do ponto de vista da argumentação que temos vindo a desenrolar:

> Perhaps we would be honest and acknowledge that some of the ideas that children have constructed are useful to them; they enable them to make adequate predictions about the kinds of situations they are likely to find themselves in. What then is the value of spending school time encouraging them to change ways of thinking? (...) If, as we suspect, changing people's ways of looking at the world is a long-term process, it is surelly all the more important that we can justify the expenditure of time and effort involved. This may envolve a radical reappraisal of what is important in school science courses. (Clough, Driver e Wood-Robinson, 1986)

O reconhecimento (espécie de autocrítica) de alguns desvios que o curso do processo investigativo terá implicado, no que diz respeito a uma correcta atitude perante o conhecimento espontâneo dos alunos, as dúvidas levantadas quanto à validade pedagógica e social de se tomar a mudança conceptual como a grande finalidade para o ensino das ciências, são aspectos que transparecem claramente da citação anterior.

Onde se Questiona a Validade Educativa do Modelo da Mudança Conceptual

Um dos aspectos que mais terá contribuído para levar o grupo de Leeds a rever (ou, pelo menos, a questionar) a sua posição inicial quanto à validade do modelo da mudança conceptual, tem a ver — ao contrário do que o indiciavam as primeiras investigações do grupo ou as opiniões dos entusiastas por aquele modelo — com a identificação de significativas inconsistências intra-individuais e interindividuais nos referenciais alternativos dos alunos.

Tal facto punha em questão um dos mais fortes argumentos a favor daquele modelo: o que pressupunha a existência de consistência lógica e psicológica nesses referenciais. A estratégia da mudança conceptual era, por via disso, colocada em sérias dificuldades: as de se conseguir, vencendo toda aquela variabilidade individual, levar os alunos (idealmente, cada aluno) de uma turma a "abdicarem" das suas concepções em favor de um único modelo: o científico (e correcto).

Há, contudo, que reconhecer que tal variabilidade é, afinal, algo natural e teoricamente previsível, tanto no plano da interindividualidade como no da intra-individualidade — embora, talvez em menor grau, neste último caso. É o que, a seguir, nos propomos evidenciar.

Dificuldades Impostas pela Variabilidade dos Construtos Pessoais dos Alunos

No que toca ao plano interindividual, essa variabilidade é, em nosso entender, algo que se prende com a própria essência do conhecimento, encarado, como aqui assumimos, numa perspectiva construtivista: o indivíduo (cada indivíduo) é, em última análise, o principal protagonista (o principal actor) no seu próprio acto de conhecer. Trata-se de uma máxima que perpassa por todo o construtivismo, mas que se encontra particularmente bem espelhada no construtivismo de Kelly. Mas, antes de fundamentarmos essa afirmação, façamos um breve parêntesis no sentido de enquadrar o pensamento desse autor, quer sob o ponto de vista epistemológico, quer, sobretudo, sob o ponto de vista psicológico.

George Kelly, através da sua *Psicologia da Construção Pessoal* (Kelly, 1963, 1991) constitui, com efeito, mais uma referência fundamental no movimento construtivista. A sua teoria, publicada em 1955, iria permanecer algum tempo desconhecida, talvez por consignar princípios psicológicos e epistemológicos de algum modo dissonantes dos supostos básicos da ideologia então dominante, o condutivismo. Logo que o declínio dessa ideologia se inicia, a obra de Kelly começa a emergir e a ser difundida pelo mundo da educação, em especial da educação em ciências — ver a esse respeito, os trabalhos de Pope e Watts, 1988; Thomaz, 1987, 1988; Watts e Pope, 1989).

A *psicologia da construção pessoal* assenta numa posição teórica que o autor designa de *alternativismo construtivo* ; tem por base a metáfora "o-homem-o-cientista", tomando-se aqui por cientista não apenas uma classe particular de indivíduos que adquiriram o estatuto de "cientistas", mas toda

a espécie humana. O fim último da actividade cognitiva humana (a sua motivação) é, tal como no caso do cientista, "prever e controlar" o mundo experiencial:

> It is the future which tantalizes man, not the past. (Kelly, 1991, p. 34)

Como diz Kelly, todo o pensamento se baseia em convicções prévias. E uma das primeiras convicções que servem de ponto de partida à nossa construção cognitiva tem a ver com a forma como concebemos o mundo em que vivemos. Kelly admite (tal como Kant) que esse mundo tem existência real, como têm também existência real os pensamentos dos indivíduos que o tentam compreender, prever e controlar; só que a correspondência entre esses pensamentos e o mundo tal como ele é será sempre imperfeita, apesar de estar em contínua e progressiva transformação e sempre aberta à mudança — as construções pessoais, como qualquer teoria científica, são sempre "transientes":

> We assume thar our present interpretations of the universe are subject to revision or replacement. (Kelly, 1991, p. 11)

E como existem várias construções alternativas à escolha para lidar com o mundo, daí a razão do nome "alternativismo construtivo". Tal alternativismo rejeita a existência de verdades absolutas; é declaradamente uma filosofia relativista.

A formulação de Kelly reserva, assim, para o homem um protagonismo activo e deliberado (motivado); enfatiza a "capacidade criativa" de o homem representar o mundo, em vez de se limitar a ele responder passivamente. Nas suas tentativas de representar o mundo, o homem constrói padrões de representação hipotéticos, os quais são por Kelly (1991) designados de *construtos* :

> Consider a construct to be a representation of the universe, a representation erected by a living creature and then tested against the reality of that universe. (p. 9)

O carácter pessoal e idiossincrático desses construtos acentua-o Kelly (1991) no seu *corolário da individualidade.* Este corolário postula que os indivíduos diferem uns dos outros na forma como constroem as suas representações do mundo:

> Persons differ from each other in their construction of events. (p. 38)

As diferenças interindividuais são justificadas não só pelas diferenças nos fenómenos percebidos, relativos a um mesmo acontecimento, como também nas abordagens para tratar cognitivamente esses fenómenos:

> No two people can play precisely the same role in the same event, no matter how closely they are associated. (Kelly, 1991, p. 38)

Mas a individualidade das construções pessoais está também reflectida no *corolário da organização.* Não só são pessoais os construtos, em si, como é também pessoal o sistema hierárquico na base dos quais eles são organizados:

> It is this systematic arrangement which characterizes the personality, even more than do the differences between individual constructs. (Kelly, 1991, p. 39)

A mensagem pedagógica é imediata: por mais esforços que se desenvolvam no sentido de levar os alunos a assimilar "o mundo ideal da ciência", sempre hão-de subsistir distorções pessoais que forçam a que essa construção nunca possa ser a ideal. Até porque as construções que realizamos dependem das nossas convicções prévias, ou seja, dos nossos sistemas de construtos, sistemas que reflectem, em muito, as nossas próprias idiossincrasias. Nessas circunstâncias, a mudança conceptual pura será sempre um ideal inatingível.

Mas a variabilidade individual dos sistemas de construtos não inviabilizará na prática o próprio acto de ensinar, ou seja, a comunicação entre educador e educando? É claro que uma teoria consistente como a de Kelly não iria cair no absurdo de prever a impossibilidade daquilo que realmente existe: a comunicação (ainda que muitas vezes distorcida) entre as pessoas. É assim que, no *corolário da sociabilidade,* Kelly prevê a possibilidade da interacção comunicacional entre os indivíduos, particularmente entre o professor e o aluno; para isso é imprescindível que o primeiro revele compreensão e empatia para com os pontos de vista do segundo. Para o conseguir, terá o professor de ser capaz de "construir os processos de construção do aluno"; terá, a seguir, de adoptar medidas tendentes a revelar as concepções pessoais do aluno para que, conhecendo-as e compreendendo-as, possa com ele realmente comunicar, isto é, possa efectivamente ensinar.

A variabilidade intra-individual das concepções alternativas, comprovada empiricamente pelo grupo de Leeds (Clough e Driver, 1986), vem agravar a missão do modelo da mudança conceptual, já de si dificultada pela anteriormente discutida variabilidade interindividual. Essa variabilidade intra-individual tem a ver com inconsistências conceptuais existentes ao nível da pessoa de cada aluno. Dado tratar-se de uma questão controversa, vamos discuti-la, com algum pormenor, no ponto que a seguir se inicia.

Como nos ensina Kant, a ideia de *sistema* pressupõe unidade na diversidade, organização e consistência lógica; opõe-se, por isso, à ideia de *agregado,* ou seja, à de conjuntos ou agrupamentos onde essas características não estejam presentes. Em sentido epistemológico, a existência de unidade sistémica é algo que, para Kant, faz parte da própria essência do conhecimento científico.

Mas se na epistemologia kantiana a ideia de unidade e organização constitui uma propriedade intrínseca ao próprio conhecimento, é natural que algo de semelhante aconteça, em sentido agora psicológico, relativamente ao pensamento dos construtivistas modernos, que na teoria daquele filósofo significativamente se apoiam. Essa ideia está, de facto, presente em Kelly, no seu corolário da organização; está presente em Ausubel, com a sua ideia de estrutura cognitiva e a sua ênfase na organização do conhecimento; encontramo-la em Driver, na sua noção de "referencial alternativo", em Gilbert, Osborne e Fensham (1982), com a "ciência dos alunos" (ciência implica organização, consistência); encontramo-la, finalmente, em Vygotsky (1986a), tal como se pode inferir da sua seguinte afirmação:

> Concepts do not lie in the child's mind like peas in a bag, without any bonds between them. If that were the case, no intellectual operation requiring coordination of thoughts would be possible, nor would any general conception of the world. Not even separate concepts as such could exist; their very nature pressupposes a system. (p. 197)

Mas convém não confundir dois planos de análise completamente distintos: o plano epistemológico e o plano psicológico. Se no plano epistemológico é incontroversa a natureza sistémica integrada e global do conhecimento científico, já no plano psicológico isso não se passa tanto assim. Aí, tal questão é, no mínimo, discutível, sendo ela fonte de algumas controvérsias, especialmente quando se trata do conhecimento espontâneo. Na verdade, se há autores que atribuem aos conjuntos de construtos espontâneos dos alunos propriedades sistémicas, outros existem que preferem encará-los como simples agregados.

Essas confusões são muitas vezes devidas a uma deficiente delimitação do campo de que se está a falar. Afirmar a organização sistémica do conhecimento espontâneo tanto pode ser uma afirmação com como uma afirmação

sem sentido, tudo depende de se estar, respectivamente, a pensar isoladamente nas diversas partes que compõem esse conhecimento ou no seu todo. Mas é mais uma vez Vygotsky que nos vem ajudar a clarificar esse ponto.

Baseado em profundas e sistemáticas análises teóricas e empíricas, Vygotsky foi levado a concluir que o conhecimento espontâneo dos alunos, encarado na sua globalidade, carece, de facto, de organização sistémica integrada; nessa globalidade, é possível identificar partes sem qualquer interacção entre si e, o que é mais, logicamente incompatíveis.

Vygotsky afirma, mesmo, que a distinção capital entre o conhecimento científico e o conhecimento espontâneo da criança recém escolarizada é a sistematicidade característica do primeiro e a falta de sistematicidade do segundo, ou seja, a organização e consistência do primeiro, face à agregação e menor consistência do segundo. É assim que, para Vygotsky, a sistematização conceptual — e, com ela, a consciencialização conceptual metacognitiva — "entra na mente do aluno" através do contacto deste com os conceitos científicos. É essa falta de generalidade (carência de organização sistémica) que leva a criança a não se aperceber das contradições a que conduzem os seus conhecimentos espontâneos.

Segundo Vygotsky (1986a), um conceito só pode ser submetido a um controlo deliberado e consciente quando faz parte de um sistema, ou seja, de uma hierarquia de conceitos a diferentes níveis de generalidade:

> If conscious means generalization, generalization, in turn, means the formation of a superordinate concept that includes the given concept as a particular case. A superordinate concept implies the existence of a series of subordinate concepts, and it also pressuposes a hierarchy of concepts of different levels of generality. (pp. 171/172)

Quer dizer: Vygotsky não nega que os conceitos espontâneos se organizem sistemicamente — se isso não acontecesse, nem sequer seria possível ao sujeito operar com eles cognitivamente; o que nega, isso sim, é que essa organização seja globalmente integrada. Isto é, a falta de sistematicidade global do conhecimento espontâneo, admitida por Vygotsky, gera a possibilidade natural da existência de inconsistências conceptuais intrapessoais.

Idêntica conclusão poderá ser derivada de Kelly. Para ele, como antes para Vygotsky, os construtos pessoais não permanecem isolados; antes se agrupam em sistemas ou subsistemas (convém relevar o plural), nos quais foram minimizadas as inconsistências ou incompatibilidades. É o que nos informa o conteúdo do chamado *corolário da organização* :

> Each person characteristically evolves (...) a construction system embracing ordinal relationships between constructs. (Kelly, 1991, p. 39)

Mas os mesmos acontecimentos podem muitas vezes ser interpretados pelo mesmo indivíduo segundo a perspectiva de dois ou mais subsistemas coerentes, inferencialmente incompatíveis (*corolário da fragmentação*):

> A person may successively employ a variety of construction subsystems which are inferentially incompatible with each other. (p. 58)

Por outras palavras, a coexistência num mesmo indivíduo de vários subsistemas de construtos autónomos dá a esse indivíduo a possibilidade de tolerar para o mesmo fenómeno interpretações diversas e até contraditórias. Assim se explica que um aluno possa apresentar respostas coerentes e correctas a uma dada questão, tendo em conta o referencial científico formal e, no entanto, formule, noutro contexto, respostas com base num qualquer re-

ferencial alternativo que possua, sem que com isso sinta estar a entrar em contradição.

Parece-nos, assim, ter aduzido argumentos teóricos que, apontando para a existência de alguma consistência individual, quanto mais não seja intra-sistémica, prevêem a possibilidade de surgirem inconsistências, quanto mais não seja intersistémicas, inconsistências essas perfeitamente naturais e perfeitamente toleráveis pelos indivíduos. Ou seja, um dos argumentos a favor do modelo da mudança conceptual — o de ser imperioso extirpar as concepções alternativas, por serem elas incompatíveis com a assimilação das concepções científicas — parece, à luz do que acabámos de discutir, encontrar escasso fundamento.

Assim se prova mais uma vez a tarefa árdua a que o modelo da mudança conceptual se propõe. Trata-se de uma dificuldade que era já pressentida pelos próprios mentores do modelo.

Dificuldades Pressentidas pelos Próprios Proponentes do Modelo

Posner et al. (1982) enumeram, com efeito, um conjunto de condições que devem ser preenchidas, antes de ser provável acontecer mudança conceptual (no sentido de acomodação). Essas condições seriam: insatisfação do aluno com as concepções já existentes, inteligibilidade e plausibilidade da nova concepção.

Digamos que, logo à partida, o modelo da mudança conceptual impõe a si próprio *constrangimentos* consideráveis, ao colocar a fasquia (ou seja, a probabilidade de ocorrência de mudanças conceptuais profundas) a um nível elevado (preenchimento daquelas condições ou pré-requisitos).

Os autores têm, aliás, consciência das implicações pedagógicas desses constrangimentos. Consideram, inclusivamente, legítimas as seguintes questões: *Será realista esperar que o ensino da ciência produza mudança conceptual nos alunos? Ou será mais realista limitar-se ele a ajudar os alunos a dar sentido às novas teorias (independentemente de realizarem ou não mudança conceptual efectiva)? Será a mudança conceptual em ciências um objectivo educacional aplicável a todos os alunos ou apenas a certas elites de alunos?*

É óbvio — doutro modo que sentido teria a sua proposta de modelo? — que os autores em causa admitem implicitamente que para essas questões possa haver respostas favoráveis; mantêm, assim, um certo optimismo, ainda que moderado.

Por nós, e a longa argumentação que acabámos de desenvolver é disso prova evidente, preferimos trilhar outros caminhos, rumo a uma didáctica das ciências mais consistente e educativamente mais frutífera. Quer dizer: ao modelo da mudança conceptual, vocacionado quase em exclusivo para a aprendizagem dos conceitos científicos (de conhecimento declarativo) e para a concomitante irradicação (algo obsessiva e imediatista) do conhecimento espontâneo dos alunos, nós contrapomos uma abordagem que, reforçando a importância desses conceitos científicos, leve os alunos a desenvolverem o seu pensamento crítico e metacognitivo, a tomarem consciência do seu conhecimento espontâneo e a transformarem-no no que ele possa ser transformável; nessa abordagem, a resolução de problemas tem, obviamente, um inestimável papel a desempenhar, sempre no quadro mais vasto do desenvolvimento das competências cognitivas do aluno, ou seja, do seu aprender a pensar.

3.2

APRENDER A PENSAR E RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS: NOVOS RUMOS PARA A EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS

Aprender a Pensar: Necessidade Imperiosa num Mundo em Mudança

Há razões para admitir que as competências de pensamento são hoje mais cruciais do que alguma vez o foram. Vivemos num mundo mais complexo, que implica terem de ser mais complexos os desafios que se colocam ao indivíduo. Cientes disso, Gil Pérez e Ramirez Castro (1989) pronunciam-se pela imperiosa necessidade de ensinar a resolver problemas a alunos que têm de ser adequadamente preparados para lidar com essa crescente complexidade, com as mudanças contínuas a ela associadas e com um conhecimento em rápida e meteórica expansão.

É uma questão de sobrevivência a necessidade de desenvolver a capacidade de adaptação ao mundo, através da aprendizagem de novas aptidões e novas competências de pensamento. Consegui-lo é, para Nickerson, Perkins e Smith (1985) a principal missão com que se confronta hoje o homem à escala mundial, missão que implica uma mudança radical nas finalidades principais que são atribuídas à escola. Apoiados naquilo que é considerado um dos mais fortes argumentos a favor do ensino das competências de pensamento (o conhecido relatório "Clube de Roma"),

declaram os autores que existe uma enorme disparidade entre o que se tem conseguido fazer para tornar efectivo o potencial humano para aprender e pensar e aquilo que pode ainda vir a ser feito.

Por outras palavras: se é uma evidência a necessidade de se saber pensar, já não é tão evidente a forma como se pode ensinar a pensar. Como lembram ainda Nickerson, Perkins e Smith (1985), é muito mais fácil exortar as pessoas a pensar do que indicar-lhes como é que o devem fazer. Mas, se uma resposta positiva e concludente à questão de como ensinar a pensar é algo, por enquanto, em aberto, também acontece que não existe, de momento, evidência substantiva capaz de suportar uma resposta negativa.

A alternativa à premissa de que as competências de pensamento podem ser ensinadas seria a assunção de que a capacidade de pensar é inata e não modificável com a socialização. O objectivo da educação formal (da escola) seria, nesse caso, o de proporcionar aos alunos a oportunidade de adquirirem o máximo possível de informação. Aqueles que tivessem capacidade intelectual para o fazer seriam bem sucedidos na escola e na vida; os outros, ver-se-iam, possivelmente, natural e inexoravelmente marginalizados da sociedade.

Se aceitarmos a ideia de que um desafio fundamental que hoje se coloca à educação é preparar para a mudança — moldar o futuro mais do que acomodar-se a ele —, torna-se clara a necessidade de se compreender melhor como é que as capacidades de pensamento podem ser desenvolvidas. E, dessa forma, seria, quanto a nós, uma irresponsabilidade se a sociedade não desenvolvesse, ao menos, esforços nesse sentido.

Esses esforços devem, contudo, não só ser intensos mas também renovados: devem visar novas formas de aprendizagem. Nickerson, Perkins e Smith distinguem, a propósito, dois tipos de aprendizagem:

- ***Aprendizagem de manutenção*** — relacionada com factos, métodos e regras, para lidar com situações familiares.
- ***Aprendizagem inovadora*** — aquela que problematiza e questiona o que existe e procura novas perspectivas.

A primeira terá sido suficiente no passado; não o será, seguramente, no futuro. Só a aprendizagem inovadora possibilita que o nosso pensamento se possa "elevar mais livremente" (Raths, 1977). E isso porque ela se baseia em situações para as quais não existem respostas antecipadas; em suma, porque ela tem como suporte a resolução de problemas autênticos. A resolução de problemas pode, pois, ter um papel inestimável a desempenhar nessa aprendizagem para o futuro (Novais e Cruz, 1987).

A Resolução de Problemas e o Objectivo de Aprender a Pensar: Verso e Reverso

A resolução de problemas não é uma actividade reservada apenas a uma elite, assim como não é uma actividade exclusivamente circunscrita a ocasiões excepcionais. É um comportamento humano habitual, num mundo de incertezas, crescente complexidade e meteórica expansão da informação; é, por isso, um comportamento com implicações significativas para qualquer

agenda educativa (McGaw, 1984). Se todos os seres humanos são, no fundo, solucionadores de problemas, então o desenvolvimento da competência para resolver problemas deve ser um objectivo educacional importante e imperioso a prosseguir (Gil Pérez e Ramirez Castro, 1989; Giordan e Vecchi, 1987).

Os educadores raramente estão de acordo quanto às finalidades, conteúdos e metodologias mais adequados para os cursos de ciências. Mas um consenso razoável hoje existe entre aqueles que se preocupam com essa problemática: a convicção (nem sempre efectivamente levada à prática) de que o pensamento reflexivo e a resolução de problemas têm na educação em ciências um papel importante a desempenhar (Champagne e Klopfer, 1977; Whimbey, 1984).

Validade Educativa da Resolução de Problemas

Foi John Dewey quem introduziu na educação americana o tema do *pensamento reflexivo* e da *resolução de problemas*[12]. Secundado por Whitehead, Dewey foi, assim, dos primeiros pensadores deste século a chamar a atenção para o papel potencialmente relevante que os problemas poderiam ter no processo educativo (Valente, Neto e Valente, 1989).

Defendia que o *método didáctico utilizado pela ciência escolar deveria pôr a ênfase na resolução de problemas,* com um constante apelo ao pensamento reflexivo. Esse método devia ser, simultaneamente, uma estratégia de ensino e aprendizagem e um fim educativo a perseguir. Essa convicção

[12] Foi ele, inclusivamente, o autor do primeiro artigo a esse respeito publicado na revista *Science Education*, nessa altura designada por *General Science Quarterly.*

está presente, por exemplo, no livro, *How we Think,* publicado em 1910, em que o autor explica que o "método da ciência", baseado no pensamento reflexivo e na resolução de problemas, converte acções meramente "apetitivas, cegas e compulsivas" em acções inteligentes. É, nessas condições, também um "método de inteligência" (Dewey, 1933).

A perspectiva de Dewey haveria de influenciar largamente o pensamento dos autores que trabalham no domínio do ensino e aprendizagem das ciências, sobretudo nos Estados Unidos. Um bom indicador dessa influência é o facto de Dewey ter defendido aquela posição em 1916 e ela não ter sido declaradamente contestada de então para cá (Champagne e Klopfer, 1977). Como vimos anteriormente, o seu modelo de resolução de problemas serviu (e continua a servir) de base a muitos dos modelos que entretanto foram sendo desenvolvidos.

A Realidade Objectiva: Sucessos e Insucessos

Todavia, importa reconhecer que entre a convicção de Dewey e de Whitehead e a realidade efectiva da sala de aula existe notável disparidade. As suas recomendações não produziram reflexos significativos imediatos nos currículos e na prática educativa real. Como referem Pizzini et al. (1989), nos Estados Unidos — e não duvidamos que algo de semelhante se passa noutros locais, incluindo neles o nosso país —, 95% dos professores de ciências seguem o livro de texto à risca, em 90% das aulas; esses cursos continuam, assim, a pautar a sua acção pela "ilusão" de que é possível ao ser humano vir a aprender tudo aquilo que vale a pena ser conhecido (Newman, 1988). H. Simon (1980) fala mesmo na "falácia da memorização rotineira", a qual, para o autor, parte do pressuposto

(falacioso) de que basta um "bom ensino" para que o aluno possa ter uma boa aprendizagem (Neto e Almeida, 1990).

Por outro lado, o facto de os alunos estudarem (memorizarem) o que está nos livros não garante que consigam resolver problemas posteriormente. Na verdade, os livros de texto são muito mais explícitos em enunciar as leis que regem os fenómenos do que em dizer algo acerca de como e quando essas leis podem ser úteis para resolver problemas. Assim, se o aluno se limita a memorizar o material presente nos livros, ou seja, a assimilar simplesmente conhecimento declarativo, não adquire, por certo, competência na resolução de problemas — a não ser, possivelmente, de "problemas-tipo" (eles também memorizados —, por não ter aprendido o imprescindível conhecimento processual.

Mas, apesar de as propostas de Dewey não terem tido a merecida continuidade nas práticas educativas, alguma coisa de positivo se tentou e se conseguiu ainda assim fazer, no que toca à investigação em resolução de problemas e à sua transposição para o contexto da sala de aula.

É assim que, por alturas da Segunda Guerra Mundial, se começaram a desenvolver técnicas de resolução de problemas, sobretudo de tipo algorítmico. Este desenvolvimento, por ter ocorrido fora do contexto educativo, conduziu a um conceito de problema demasiado estreito, o qual realçava sobretudo os aspectos operativo e instrumental. Esse movimento viria, porém, a ter reflexos decisivos na investigação e na prática da resolução de problemas, sobretudo a partir dos anos 60, isto é, da emergência das correntes que punham a ênfase primordial nos processos e na aprendizagem por descoberta (Shaw, 1983).

Vários são os trabalhos que, nessa perspectiva, foram sendo desenvolvidos; deles se deixa aqui uma breve amostra. Mayer (1986) notou que os alunos aos quais era dada instrução adequada e significativa evidenciavam maior competência na identificação e na resolução de problemas. Sternberg (1987) e Simon e Simon (1978) acentuam a evidência de que os alunos aprendem, de facto, e de forma significativa, competências de resolução de problemas se lhes forem proporcionadas experiências concretas. R. Gagné (1985) refere a eficácia de uma estratégia baseada na resolução de problemas, no desenvolvimento de conceitos específicos; na mesma linha, Freundlich (citado por Pizzini et al., 1989) afirma que a utilização de conceitos científicos na resolução de problemas confere acréscimo de significado a esses conceitos, dado que permite relacioná-los com o esquema conceptual do aluno.

Chiappetta e Russel (1982), por sua vez, descobriram que alunos do 8.º ano de escolaridade expostos a uma abordagem baseada na resolução de problemas evidenciavam ganhos de aprendizagem significativamente superiores a outros que, no mesmo estudo e do mesmo ano, seguiram uma abordagem tradicional. Shaw (1983) obteve resultados evidenciando que os alunos que seguiam um currículo de ciências baseado em processos e na resolução de problemas alcançavam classificações significativamente mais elevadas do que os que, paralelamente, seguiam uma estratégia que enfatizava sobretudo os conteúdos.

Desta forma, a resolução de problemas iria adquirindo importância crescente, ao ponto de muitos investigadores se lhe referirem como uma abordagem "vital" (Rivers e Vockel, 1987), particularmente no que diz respeito ao ensino-aprendizagem das ciências. E vital quer como forma de aprendizagem, quer como exercício de aquisição de competências intelectuais que

lhe estão subjacentes (Garrett, 1987), incluindo o caso fundamental das competências metacognitivas (Cruz, 1988, 1989).

Essa finalidade aparece em autores tão diversos quanto Champagne e Klopfer (1977), Pizzini et al. (1989) e Stewart (1982). Larkin e Reif (1979) afirmam, por outro lado, que todas as ciências, quer puras quer aplicadas, têm como tarefa central o desenvolvimento e sistematização de conhecimentos para resolver problemas de diversa espécie; por isso, a educação em ciências deve ter como grande finalidade ensinar os alunos a tornarem-se eficientes solucionadores de problemas.

Larkin, na conferência subordinada ao tema "Resolução de Problemas e Educação", realizada na Universidade de Carnegie Mellon, em Outubro de 1978, enfatizou a importância da resolução de problemas em física, reforçando a ideia de que é possível conciliar a investigação psicológica e a prática educativa para proporcionar aos alunos uma aprendizagem efectiva da resolução de problemas naquela disciplina.

Muitos autores reconhecem, todavia, que se trata de uma tarefa de difícil execução, uma vez que a resolução de problemas é uma "competência intelectual bastante complexa", para a qual não existe sequer uma definição operacional consensualmente aceite (Chiappetta e Russel,1982; Larkin e Reif, 1979).

Em suma: apesar das recomendações de Dewey e Whitehead, apesar das propostas diversas de outros autores mais recentes, no sentido de a resolução de problemas constituir uma das finalidades primeiras da educação em ciências, é notório que disparidade existe entre essas reivindicações e a realidade educativa concreta.

Pode afirmar-se que afinal o que predomina é, por um lado, a perspectiva tradicional, assente na *falácia da memorização rotineira,* ou perspectivas mais recentes (como o movimento da mudança conceptual, por exemplo) que, apesar de no campo dos princípios visarem a aprendizagem significativa, acabam por, em virtude de condicionalismos vários, ficarem enredadas nas malhas da aprendizagem rotineira. Por outro lado, e como acontecia com a investigação, a didáctica da resolução de problemas continua a ser um mundo de controvérsias; controvérsias quanto ao seu real valor pedagógico, quanto ao que é resolver problemas, quanto ao que contribui ou não contribui para uma resolução de problemas mais efectiva, etc.

A polémica fundamental que envolve a resolução de problemas, como envolve as competências cognitivas em geral, centra-se, no fundo, em redor da recorrentemente referenciada dicotomia *conteúdos específicos* versus *processos gerais.* A "metodologia específica" sacrifica a generalidade em favor da intensidade; a "metodologia geral" sacrifica a intensidade e favorece a generalidade.

Assumimos já, no entanto, o princípio de que, se aquela dicotomia poderá ter alguma pertinência metodológica, ela carece de sentido psicológico e pedagógico. Para nós, não se trata, pois, de dicotomia mas de sinergia. E como, nessa sinergia, os conteúdos têm sido o óbvio, nós, para a fundamentarmos, vamo-nos concentrar para já no menos óbvio: nos processos. Que processos poderão, então, ser candidatos a uma didáctica da resolução de problemas que se quer consistente e integradora?

Para uma Didáctica do Aprender a Pensar: Estratégias e Heurísticas como Processos Candidatos

Uma questão bastante controversa, e já referida noutro local, é a de saber se existem ou não *estratégias gerais,* susceptíveis de serem utilizadas numa grande diversidade de contextos. A existirem, como parece ser a convicção de muitos autores, elas seriam naturalmente os primeiros candidatos a considerar. A sua consideração está subjacente a muitos currículos para o ensino das ciências, desenvolvidos e implementados nos anos 60/70, no tempo em que a "aprendizagem por descoberta" estava no auge — por exemplo, o PSSC, o BSSC e o *Project Physics Course,* nos EUA, ou o *Projecto Nuffield,* no Reino Unido. Os resultados desses programas não são, contudo, claros e conclusivos; estão, de algum modo, datados, pelo que há já algum tempo que têm vindo a perder algum do seu vigor inicial, por serem cada vez mais acentuadas as críticas que lhe são dirigidas (E. Gagné, 1985).

Existe, todavia, um número considerável de referências que apontam situações em que esse tipo de abordagens, assentes no desenvolvimento de estratégias gerais, acabaram por ter algum sucesso (Pitt, 1983; Tuma e Reif, 1980; Torrance, 1972, com uma revisão de literatura, citado em Gagné, E., 1985). Um dos programas, a esse respeito, melhor concebidos e avaliados é, talvez, o famoso *Productive Thinking Program,* concebido por Crutchfield e Davies, em 1966, e complementado por Olton e Crutchfield, em 1969 (in E. Gagné, 1985) .

Esse programa tem por objectivo essencial levar os alunos a traduzirem o seu conhecimento declarativo em conhecimento processual. Para isso, co-

loca a ênfase no desenvolvimento de competências gerais tais como a produção de ideias novas e originais (pensamento divergente), o pensamento sistemático, a flexibilidade de representação na resolução de problemas, a distinção entre informação relevante e irrelevante ou a formulação de questões metacognitivas pertinentes.

Estudos muito cuidados acerca da eficácia do programa sugeriram que os alunos que o frequentavam eram capazes de produzir mais e melhores ideias para a resolução de problemas e eram mais eficazes a resolvê-los. Além disso, Olton e Crutchfield (citados em E. Gagné, 1985) comprovaram que aquelas competências gerais eram transferidas para situações problemáticas bastante distintas e pareciam permanecer seis meses após a intervenção.

No entanto, são também citados por E. Gagné estudos que chegam a conclusões precisamente opostas, quanto à transferibilidade dos processos gerais em que assentam esses cursos. Mas o facto de não haver consenso quanto a esse aspecto, se é verdade que adia a comprovação do sucesso inequívoco do ensino de estratégias gerais, não lhe retira, porém, relevância, ilustrada na série de propostas e actuações positivas que produziram.

Para além das estratégias gerais, outros potenciais candidatos aos programas para ensinar a pensar e a resolver problemas são as *estratégias mais específicas* (mais dependentes do contexto concreto), nas quais se incluem os procedimentos heurísticos ou *heurísticas,* simplesmente. Algumas fontes para inspirar esse tipo de procedimentos são, por exemplo, as obras:

- *How to Solve Problems* (Wickelgren, 1974);
- *Problem Solving and Comprehension: a Short Course in Analytical Reasoning* (Whimbey e Lochhead, 1986);

- *Understanding and Increasing Intelligence* (Sternberg, 1985c, 1985d);
- *Human Problem Solving* (Newell e Simon, 1972):
- *IDEAL* (Bransford e Stein, 1986).

Apesar do estudo das heurísticas remontar, pelo menos, a Descartes[13] , a sua divulgação no mundo da educação só iria intensificar-se a partir do momento em que, no início da década de 40, Polya (1973) consagra o termo no seu conhecido tratado sobre resolução de problemas, o livro *How to Solve it?*

Recentemente, esse termo tem sido profusamente utilizado pelos investigadores que desenvolvem o seu trabalho na área da Ciência Cognitiva, para com ele tornarem mais nítida a distinção entre dois tipos diferentes de procedimentos cognitivos (Hayes, 1987; Nickerson, Perkins e Smith, 1985):

- ***Procedimento algorítmico*** — prescrição passo a passo, destinada a atingir um dado objectivo. É, por definição, um caminho que, se correctamente processado, dá garantias seguras de chegar à solução — exemplos: extracção raízes quadradas, acerto de equações químicas, aplicação de regras em física. Muitos autores não consideram que estes procedimentos sejam de resolução de problemas; reservam essa designação para os que se seguem.

- ***Procedimento heurístico*** — constitui, apenas, "uma boa aposta", quer dizer, é um procedimento realizado sem a garantia de que se vai chegar à solução, o que não significa que sejam procedimentos "às cegas" (Hayes, 1980, 1987).

[13] Por exemplo, na obra *Regras para a Direcção do Espírito* (1989).

O Modelo de Polya como Fonte de Heurísticas

Um dos conjuntos de heurísticas mais conhecidos é, como já assinalámos, o configurado no modelo de Polya, referenciado em grande parte da literatura sobre resolução de problemas. Citamo-lo aqui, não pela sua novidade relativamente a outros modelos já apresentados, mas pelo seu cunho fortemente didáctico e pela sua importância na literatura. Consideramo-lo, aliás, um modelo de raiz mais didáctica do que psicológica. Estes, em geral — com a possível excepção do modelo de Sternberg —, careciam de uma descrição fundamentada e de encaminhamentos didácticos. É, por outro lado, um modelo que, tal como acontecia com o de Sternberg, antecipa já comportamentos metacognitivos importantes.

Trata-se de um *modelo prescritivo para problemas de matemática,* mas facilmente transponível para outros domínios. Contempla *quatro fases fundamentais* e *diversas heurísticas para cada fase.* Apresentamos, a seguir, uma breve descrição do modelo, tentando relevar as fases e os passos mais importantes, sendo eles os seguintes:

1. ***Compreender a natureza do problema.***

   - Certificar-se de que se compreende e identifica a incógnita, os dados e as condições/restrições a eles impostas. Pretende-se, assim, assegurar que todo o problema tenha sido representado, que todos os aspectos relevantes tenham sido tidos em conta e que todos os estados tenham sido completamente explicitados.

   - Traçar um gráfico ou um diagrama e utilizar as notações adequadas (representações externas). Esta heurística pretende assegurar uma boa "visualização" do problema; ela pode tornar evidentes relações que, de outro modo, permaneceriam ocultas.

   - Reformular a representação construída, sempre que ela se revelar inadequada ou improdutiva.

2. *Conceber um plano*

- Formular uma ou várias estratégias de resolução adequadas.
- Pensar num problema estruturalmente análogo ao actual e tentar resolver este por semelhança com o primitivo; para Hayes (1987), essa constitui uma das técnicas mais poderosas de resolver problemas. Alguns psicólogos consideram esta capacidade de identificar semelhanças e de realizar raciocínios analógicos como uma das marcas mais indicativas de um comportamento inteligente. Não admira que este seja um aspecto bastante investigado na resolução de problemas.
- Subdividir o problema em partes, tantas quantas o necessário, até se chegar a problemas mais simples que se saiba resolver — estratégia bastante utilizada em programas como o *The Complete Problem Solver* (Hayes, 1987). Por outro lado, esta heurística parece ser precursora do modelo de Newell e Simon (1972) de resolução de problemas.
- Discutir casos extremos e analisar a validade e a plausibilidade dos mesmos. Trata-se de uma proposta considerada fundamental na resolução de problemas de física; ela está, por exemplo, consignada no modelo de Gil Pérez e dos seus colegas, o qual abordaremos mais à frente.

3. *Executar o plano*

É a fase da realização dos cálculos matemáticos, da implementação das estratégias planeadas e dos algoritmos apropriados. No caso de problemas de matemática, é aqui que se desenvolve a demonstração detalhada e é aqui que, segundo Polya, têm lugar os processos dedutivos; exactamente por isso, pela sua natureza essencialmente dedutiva, não é considerada por Polya um procedimento verdadeiramente heurístico.

4. ***Análise dos Resultados (Avaliação)***

Depois de se ter chegado à solução, existe a tendência natural de considerar cumprida a missão. O bom resolvente não pára aí; tenta encontrar processos de validar a solução, os quais podem incluir:

- a tentativa de resolver o problema segundo outra via;
- a avaliação e a discussão das implicações da solução obtida;
- a derivação de conclusões, a partir dela.

As heurísticas de Polya — e também as de Newell e Simon, que naquelas muito se inspiram, embora sejam formuladas em linguagens completamente diferentes — são consideradas das mais bem conseguidas e das que mais inspiraram outros autores. Contudo, elas foram desenvolvidas a partir de situações problemáticas bem estruturadas: problemas de matemática, no caso de Polya; jogos e *puzzles* e também problemas daquele tipo no caso de Newell e Simon. É legítimo perguntar até que ponto elas são úteis noutros contextos, concretamente na vida real. Por outro lado, como assinalam Nickerson, Perkins e Smith (1985), a formulação de modelos e métodos gerais e abstractos é tarefa bem mais fácil do que a sua implementação na prática. Por exemplo, uma coisa é reconhecer a importância das representações, outra, bem diferente, será conseguir realizá-las.

Alguns Programas de Heurísticas Bem Sucedidos

Têm, contudo, sido desenvolvidos programas que procuram contornar aquelas dificuldades. São, em geral, compatíveis com perspectivas que encaram a competência cognitiva como uma questão, pelo menos em parte,

de *know-how* adequado: o que é necessário para se ser um pensador eficaz, é possuir um bom repertório de heurísticas, capazes de poderem ser úteis numa diversidade de situações, assim como possuir as competências metacognitivas apropriadas.

A. Schoenfeld (1979) apresenta os seguintes argumentos favoráveis ao ensino das heurísticas: as heurísticas são realmente úteis e necessárias à resolução de problemas; os alunos carecem, em geral, de um bom conjunto de heurísticas; são, por outro lado, incapazes de as derivar espontaneamente, tendo elas por isso que lhes serem explicitamente ensinadas.

Num desses programas, Rubinstein (1975) apresenta uma lista de importantes heurísticas que ele apelida de "preceitos gerais para a resolução de problemas"— ver, também, Cyert (1980). Citam-se algumas das mais relevantes:

- Ter sempre presente o problema como um todo, não se dispersando em detalhes ("try to get the picture of the forest before you get lost in the trees").
- Protelar os juízos de valor; evitar decisões precipitadas.
- Tentar simplificar o problema, utilizando palavras, símbolos, representações gráficas ou equações;
- Mudar de representação, sempre que necessário.
- Colocar questões a si próprio.
- Tentar resolver o problema de "trás para a frente".

- Recorrer a analogias e metáforas sempre que possível.
- Falar, dissertar, especular acerca do problema.

Convictos da importância desse tipo de heurísticas, esses autores sugerem, mesmo, a utilização de um cartaz, para ter presente na sala de aula, no sentido de levar os alunos a, com base nele, escolherem a heurística mais adequada a cada passo, explicitando sempre a sua opção.

Um outro exemplo de programa, visando o desenvolvimento de estratégias gerais, é o já referido IDEAL, desenvolvido por Bransford e Stein (1986). A sigla corresponde às iniciais dos passos em que o método se baseia: *Identifying the Problem, Defining the Problem, Exploring Strategies, Acting on Ideas e Looking for the Effects.* Não é, evidentemente, ideal, no sentido em que seja perfeito nem, como apontam os autores, "o melhor método que se possa encontrar". Está concebido com a finalidade de facilitar a identificação e o reconhecimento das distintas etapas e componentes que há que ter em conta ao resolver problemas". Pode, em resumo, descrever-se como segue:

1. ***Identificação (detecção) do problema.*** É, pensam os autores, a parte mais importante da resolução de problemas. Trata-se de uma fase que, em geral, é totalmente descurada; prefere-se pôr a tónica em problemas pré-fabricados. Se não se perceber e reconhecer que um problema existe, não é nada provável que se tente resolvê-lo (Bransford et al., 1986). Corresponde àquilo que na literatura aparece designado por descoberta do problema (*problem identifying*). Por outro lado, é, muitas vezes, concebido como uma expressão saliente do pensamento criativo.

2. ***Definição do problema***. Como lembram Bransford e Stein, pode-se estar de acordo quanto à existência de um problema e, não obstante, divergir, quanto ao modo de o definir e representar, qualidades que, como sabemos, vão influenciar as possíveis alternativas de resolução (Newell e Simon, 1972).

3. ***Exploração de estratégias***. Nesta fase, concebem-se diversas estratégias alternativas para chegar à solução. Muitas vezes não se acerta com a estratégia adequada. Isto ocorre, em parte, porque muitas pessoas nem sequer se dão conta da importância de abordar os problemas com base numa estratégia. "Não podemos observar as mentes dos que resolvem problemas", por isso, dizem Bransford e Stein, "nada mais fácil do que supor que as soluções lhes ocorrem naturalmente, e que se não nos ocorrem a nós é porque nada poderemos fazer para o conseguir." E prosseguem, "noutras isso não acontece, temos de adoptar um método de análise sistemática o qual passa, muitas vezes, por decompor o problema em partes".

4. ***Execução planeada e avaliação dos resultados***. Trata-se de duas fases intimamente associadas. Elas devem possuir uma forte componente avaliativa. O indivíduo monitoriza periodicamente a sua evolução, através da verificação da distância a que se encontra do estado final e da mudança, se necessário, de estratégias. J. Holton (1982) faz notar que, com frequência, os alunos não pensam cuidadosamente na estratégia que hão-de utilizar; uma vez adoptada uma, essa é aplicada às cegas, em lugar de ser activamente ensaiada e avaliados os seus efeitos.

DIDÁCTICA DA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE FÍSICA: PARA UMA ABORDAGEM POTENCIADORA DO SUCESSO

4

4.1

CONDICIONANTES ESPECÍFICAS DO SUCESSO: A DIFICULDADE INTRÍNSECA DA MECÂNICA NEWTONIANA

A Mecânica Newtoniana: do Estatuto Epistemológico ao Estatuto Curricular

Até ao século XIX, o conceito de movimento e outros conceitos com ele relacionados constituíam a base explicativa para uma grande parte dos fenómenos físicos. Não é por acaso que o nascimento da nova metodologia científica está historicamente associado ao estudo do movimento, e que a mecânica tenha sido a primeira ciência no sentido moderno da palavra (Gil Pérez e Carrascosa, 1990; Koyré, 1973, 1992; Lind, 1980).

É, desse modo, compreensível que a mecânica tenha adquirido um estatuto privilegiado, sendo, sobretudo a partir de Descartes e Newton, muitas vezes encarada como paradigma de cientificidade. A sua influência iria contagiar outras áreas do pensamento, com particular realce para a filosofia. Desta brotaria, no século XVII, uma nova corrente epistemológica, compreensivelmente designada de *mecanicismo*. O mecanicismo, nas palavras de Alquié et al. (1987), é "uma filosofia [ou filosofias] da natureza segundo a qual o universo e qualquer fenómeno que nele se produza [físico, químico, biológico e até psicológico] podem e devem explicar-se de acordo com as leis dos movimentos materiais" (p. 59). Abarca doutrinas diferen-

tes, todas elas concordantes "em libertar a explicação do mundo das físicas animistas, qualitativas e finalistas" (p. 60). O mais célebre é o de Descartes, autor que descreve, assim, a sua filosofia da natureza:

> A minha filosofia (...) só considera grandezas, figuras e movimentos, à semelhança do que faz a mecânica. (citado em Alquié et al., 1987, p. 59)

Mas, nos finais do século XIX, tanto a validade absoluta como a própria consistência lógica (antes tão enaltecidas) do sistema newtoniano começariam a ser questionadas. As fundações do mecanicismo começam, assim, a oscilar e, consequentemente, este a perder algum terreno. Mach afirmou-se como um dos seus críticos mais acérrimos. Na sua opinião, o mecanicismo era um preconceito sem sentido, uma "concepção artificial":

> Knowledge which is historically is not necessarily the foundation of all that is subsequently gained. (...) The mechanical theory of nature is, undoubtedly, in an historical view, both inteligible and pardonable; and it may also, for a time, have been of much value. But, upon the whole, it is an artificial conception. (Mach, 1919 , p. 496)

Por outro lado, no rasto de físicos como Hertz, e fiel às suas convicções como um dos fundadores do empirismo lógico, Mach ambicionava uma mecânica da qual, ao contrário do que sucedia com a mecânica newtoniana, fosse possível eliminar todas aquelas entidades que (como a força, por exemplo) enfermavam de contaminação metafísica — rotulava-as, mesmo, de "obscuridades metafísicas —, isto é, não eram passíveis de operacionalização e mensuração experimental. Por aplicação de um *método histórico e filosófico,* critica as leis de Newton e apresenta uma nova e, a seu ver, mais consistente formulação das leis do movimento (Griffiths, 1976; Mach, 1919).

Não admira, assim, que o dealbar do século XX nos tenha trazido uma das rupturas epistemológicas mais decisivas da história do pensamento contemporâneo, a qual implicaria o colapso epistemológico da mecânica newtoniana. Mostrou-se, com efeito, que as leis de Newton eram insatisfatórias a distâncias muito pequenas e, em resultado, dá-se o desenvolvimento da mecânica quântica; para velocidades muito elevadas, a mecânica newtoniana teve de ser substituída pela teoria da relatividade restrita, introduzida por Einstein; a seguir, face a dificuldades presentes na teoria newtoniana da gravitação, Einstein formula a teoria da relatividade generalizada.

Passa-se de um tempo caracterizado, no campo da física, pela vigência de um paradigma dominante (o newtoniano) para um outro em que coexistem dois novos paradigmas em competição (o quântico e o relativista). Este último tempo (o nosso) é ainda de revolução, tal como Kuhn nos ensina e alguns outros autores assinalam.

A mecânica newtoniana não foi, todavia, pura e simplesmente abandonada. Apesar de crítico em relação ao sistema de Newton, o próprio Mach (1919) lhe reconhece os méritos:

> All that has been accomplished in mechanics since his day [of Newton] has been a deductive, formal and mathematical development of mechanics on the basis of Newton's laws. (p. 187)

Como diz Whitaker (1980), há-de sempre vir um tempo em que uma dada disciplina "deixa de estar viva". As dificuldades lógicas internas fundamentais terão então sido resolvidas e alguns dos problemas remanescentes transferidos para o âmbito de outras áreas disciplinares.

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

Essas disciplinas adquirem um novo estatuto: passam a ser designadas de *clássicas.* E é assim, como *mecânica clássica* — até para a distinguir das outras mecânicas que lhe sucederam —, que a mecânica newtoniana acaba por sobreviver à revolução científica que a desalojou do seu lugar privilegiado.

Sobreviver, dizíamos, porque a mecânica newtoniana (doravante apelidada, em geral, apenas de mecânica) é hoje encarada como uma teoria aproximada, aplicável a sistemas em que predominam distâncias grandes se comparadas com a escala atómica, velocidades pequenas quando comparadas com a velocidade da luz e campos gravíticos que não ultrapassem a intensidade dos que se encontram no sistema solar. Desse modo, ela pode ser satisfatoriamente aplicada à grande generalidade dos sistemas com que usualmente nos vemos confrontados (Griffiths, 1976).

Neste enquadramento, não admira que a mecânica ocupe — por direito próprio, aliás — um lugar imprescindível em qualquer currículo escolar. A sua compreensão pode ajudar, como o próprio Mach (1919) reconhece, a compreensão de outras áreas ou assuntos de física — certos aspectos do electromagnetismo clássico, por exemplo, têm semelhanças estruturais ao formalismo da mecânica newtoniana.

As suas potencialidades formativas são inquestionáveis, apesar de, como a seguir se discutirá, nem sempre serem adequada e oportunamente aproveitadas e geridas. Gil Pérez e Carrascosa (1990) referem-se-lhe, mesmo, como uma "via dourada" para iniciar a mudança metodológica que preconizam para o ensino das ciências. Para esses autores, essa mudança metodológica passa, primeiro que, tudo pela superação da *metodologia da superficialidade,* isto é, por questionar criticamente o que achamos serem

evidências de senso comum, assentes fundamentalmente na percepção sensorial.

Ora, é precisamente na mecânica que o senso comum parece conseguir construir uma conceptualização qualitativa mais coerente, como muito bem o procurou demonstrar Aristóteles na sua física[9].

Dificuldades da Mecânica e Dificuldades da Física: Simbiose Quase Perfeita

Mas, apesar dessa posição curricular invejável, e das suas inquestionáveis potencialidades formativas, é praticamente consensual, tanto entre os alunos como entre os professores, que a mecânica constitui um assunto simultaneamente difícil de aprender e de ensinar.

Ela é, seguramente, o exemplo mais completo do falhanço do ensino formal da física (e mesmo das ciências), tanto a nível secundário como superior (Champagne et al., 1980; Clement, 1982; diSessa, 1982; Gunstone, 1987; Hake, 1987; Halloun e Hestenes, 1985a, 1985b, 1987; Hestenes, 1979; McDermott, 1984; Minstrell, 1982; Peters, 1982; Resnick, 1983; Ropper, 1985; Trowbridge e McDermott, 1980, 1981; Viennot, 1979; West e Pines, 1985; Whitaker, 1983; White, 1983).

[9] Salvaguardadas as devidas diferenças entre a consistência lógica e metodológica da física aristotélica e a consistência lógica e metodológica das abordagens de senso comum (Koyré, 1992; Piaget, 1987).

Ogborn (citado por Osborne e Freeman, 1989, p. 26) sintetiza bem essas dificuldades dos alunos perante a mecânica quando, a propósito das três leis de Newton — inequivocamente, uma amostra suficientemente representativa do todo que constitui a mecânica escolar —, o autor afirma que, para os alunos, a primeira lei é "inacreditável", a segunda "incompreensível" e a terceira é encarada como pura "magia" ou "encantamento religioso".

Admitindo relevar essa posição de Ogborn de algum pessimismo, Osborne e Freeman (1989) consideram, no entanto, ser ela sintomática das reais dificuldades enfrentadas, sempre que se tem de lidar pedagogicamente com a mecânica, e da facilidade com que tais dificuldades são frequentemente subestimadas. Comparando essas dificuldades com os obstáculos metodológicos e epistemológicos que os homens do século XVI tiveram de superar para dar corpo à "nova mecânica", vale a pena atender à seguinte citação de Koyré (1986):

> O que os fundadores da ciência moderna, e entre eles Galileu, deviam então fazer não era criticar e combater certas teorias erradas, para as substituir por outras melhores. Deviam fazer algo completamente diferente: destruir um mundo e substituí-lo por outro, reformar a própria estrutura da nossa inteligência, formular de novo e rever os seus conceitos, conceber o Ser de uma nova maneira, elaborar um novo conceito de conhecimento, um novo conceito de ciência — e mesmo substituir um ponto de vista bastante natural, o de senso comum, por um outro que o não é de modo algum. (p. 19)

Será, porventura, essa "falta de naturalidade" da mecânica newtoniana uma das causas principais da sua "opacidade" didáctica — para utilizar a sugestiva imagem metafórica de Novak (1989) ou West e Pines (1985).

Quase se pode dizer, em suma, que, em relação à mecânica, ou dela "se gosta" ou "se detesta". Radicalizam-se, assim, as atitudes dos alunos para

com ela — radicalização essa não equitativa, uma vez que os que a "detestam" superam largamente os que a "apreciam". Pode, aliás, afirmar-se, seguramente, que o mesmo se passa com toda a física em geral; daí a nossa opção de tomar a mecânica como representativa, em termos pedagógicos e didácticos, da totalidade da física. E representativa tanto no que se refere às atitudes extremadas que ambas suscitam, como no que diz respeito aos impedimentos de aprendizagem que ambas igualmente colocam.

Pensa-se, amiúde, que tais impedimentos são um exclusivo dos alunos menos competentes ou menos bem preparados. Peters (1982) desenvolveu um estudo experimental (bastante referenciado, aliás) em que procurou refutar essa ideia. Utilizou, para isso, os seus próprios alunos de um curso universitário avançado de física, todos eles caracterizados por terem obtido elevadas classificações a física no ensino secundário, e por terem optado livremente pela frequência do curso.

Para além de constituída por alunos "brilhantes e altamente motivados", essa turma experimental beneficiava, ainda, de outras condições privilegiadas suplementares: menor número de alunos — o que permitia uma melhor discussão dos assuntos e uma maior interacção com o professor; apoio individual concedido por alunos-monitores de anos mais avançados; ritmo menos veloz na abordagem dos tópicos programáticos. Os resultados obtidos evidenciaram um nível de compreensão significativamente inferior ao esperado, tendo em conta as circunstâncias altamente favoráveis em que a experiência decorreu. A conclusão tirada pelo autor é imediata: se essa elite de alunos, beneficiando de condições privilegiadas, manifestou, mesmo assim, sérias dificuldades na compreensão da física, é óbvio que, em condições normais, os estudantes em geral, hão-de ainda revelar dificuldades mais acentuadas, porventura, muitas vezes, insuperáveis.

Mas porque será, afinal, que os alunos falham tanto em física? A que se devem as suas inegáveis dificuldades nesta disciplina? Dever-se-á imputar responsabilidades ao pólo do ensino, ao da aprendizagem ou a ambos, isto é, ao facto de ser a física eventualmente uma disciplina intrinsecamente difícil de ensinar e de aprender?

É difícil e, quiçá, pouco prudente, apresentar respostas simples para questão tão complexa. De qualquer modo, e sem escamotear a influência das outras duas consideradas autonomamente, julgamos que a resposta mais satisfatória e mais significativa será a que aponta para a terceira alternativa; até pelas repercussões que, ao fim e ao cabo, ela vai ter na interacção entre as duas restantes. Nesse pressuposto, e tentando concretizar um pouco mais, diremos que a resposta para a reclamada complexidade da física escolar implicará, certamente, os seguintes aspectos:

1. Parte dela é justificada pela existência de desajustamentos pronunciados entre o *grau de abstracção e de formalismo lógico* típicos dos conceitos, princípios e teorias da física — muitos deles contra-intuitivos, tal como mais à frente se discutirá — e o nível geral de desenvolvimento cognitivo dos alunos (A.A.A.S., 1989b; Renner e Grant, 1978; Vygotsky, 1986a, 1986b). Inúmeros estudos têm, com efeito, indicado que muitos alunos do ensino secundário (dir-se-ia, a grande maioria) revelam sérias dificuldades na compreensão e utilização dos conceitos e princípios fundamentais de física (Arons, 1979a, 1979b, 1991; Champagne et al., 1980; Karplus, 1981).

   Mas não é só a natureza abstracta dos conceitos de física a contribuir para esses desfasamentos. Há que pensar, também, na forma

como esses conceitos e outros elementos se estruturam para formar as teorias físicas. Dado o estado de desenvolvimento e o estatuto epistemológico avançado atingido pela física, essas teorias sofreram já todo um processo de depuração e condensação, qualidades que, se por um lado lhes conferem uma simplicidade lógica e uma elegância estrutural mais acentuadas, lhes fazem corresponder, por outro, uma maior exigência formal. Toda essa estruturação formal progressiva vai implicar que seja mais acentuada a descontinuidade entre a lógica da física como disciplina científica, a lógica que o professor utiliza para a ensinar e a lógica pessoal a que cada aluno recorre para a tentar aprender. Dessas descontinuidades resultam distorções óbvias, no que diz respeito à forma como a mensagem científica recebida pelo aluno vai ser por ele efectivamente assimilada (Neto e Almeida, 1990).

É claro que esses desajustamentos não se fazem sentir apenas ao nível cognitivo. Se eles forem acentuados, geram, com efeito, bloqueamentos afectivos, com reflexos imediatos no bom funcionamento dos mecanismos motivacionais necessários à aprendizagem e à resolução de problemas.

2. Um outro justificativo está intimamente associado ao facto de a física aliar a dificuldade conceptual e estrutural que lhe é própria à dificuldade típica da *matemática,* na qual se tem necessariamente de apoiar.

Como refere Novak (1977a, 1990), a matemática é um dos assuntos conceptualmente mais "opacos" que os alunos encontram na escola, assunto que, pode dizer-se, lhes é muito pouco grato e do

qual quase nada se recordam funcionalmente alguns meses depois de o "aprenderem". É ainda Novak a lembrar que os alunos saem dos cursos de matemática sem compreenderem efectivamente o significado dos conteúdos e da estrutura dessa disciplina, vendo a matemática mais como um fim em si mesma do que como uma ferramenta útil para a vida e fundamental em disciplinas como a física.

Em suma: não bastando a complexidade conceptual que lhe é peculiar, a física tem ainda de suportar em grande escala males idênticos que afectam a matemática: a "opacidade" da matemática vai reforçar a "opacidade" que à física já é inerente. Compreende-se, desse modo, que alguns autores (ex., Champagne et al., (1980) localizem na interface física-matemática ou, mais precisamente, na interface conhecimento qualitativo-conhecimento quantitativo, alguns dos entraves cognitivos mais acentuados que se colocam à aprendizagem da própria física.

3. Uma terceira fonte de dificuldade tem a ver com as *dissonâncias* reais e com as rupturas psicológicas e epistemológicas artificialmente criadas *entre os conceitos físicos e os correspondentes conceitos espontâneos* e naturais, com os quais, desde cedo, fomos construindo a nossa própria realidade e que, afinal, nos ajudam a resolver problemas e a comunicar no dia-a-dia (Gilbert Watts e Osborne, 1982; Gunstone, 1987).

Grande parte do ensino da física é orientado no sentido de, explícita ou implicitamente, levar o aluno à convicção de que os seus construtos pessoais estão pura e simplesmente errados e que é ne-

cessário abandoná-los, dado o seu escasso ou nulo potencial explicativo. Só que essa ideia de que existe conflito total entre os dois tipos de conhecimento não é, como já referimos, corroborada por muitos autores (Vygotsky e Kelly, por exemplo)

4. A última fonte de dificuldade que aqui apontaremos está intimamente relacionada com a anterior. As dissonâncias conceptuais a que antes nos referíamos arrastam correlativas *dissonâncias linguísticas.* Como mostra Solomon (1983) — exemplificando com o termo "conservação de energia" —, os significados que associamos aos termos técnicos específicos da física não são de modo nenhum idênticos aos significados, ou melhor, aos sentidos, que esses termos adquirem em contextos do dia-a-dia. Em qualquer discordância entre o significado científico (essencialmente lógico) e a pluralidade de sentidos (essencialmente psicológicos) prevalecem aqueles que são mais frequentemente reforçados pela utilização social; e aí o prato da balança pende, como é óbvio, para o lado dos segundos. O que não significa que, em contexto escolar (ver Kelly), o aluno não seja capaz de, abstraindo dos aspectos psicológicos do sentido, ficar só com os aspectos lógicos do significado.

A breve *sinopse* que acabamos de apresentar, relacionada com o que nos parecem ser algumas condicionantes específicas importantes da aprendizagem da física, aplica-se, por razões já suficientemente exploradas, também ao caso particular da mecânica. Por motivos de estrutura formal, trataremos a problemática da interface conhecimento qualitativo-conhecimento quantitativo num ponto subsequente; as questões de linguagem aparecerão disseminadas por várias partes do trabalho; resta-nos, pois, discutir os desa-

justamentos entre o elevado grau de abstracção dos conceitos de mecânica e o nível de desenvolvimento intelectual dos alunos, por um lado, e a incidência especial que o conhecimento espontâneo dos alunos toma em mecânica, por outro. É o que passaremos já de seguida a concretizar.

A "Opacidade" da Mecânica: Disfunções Cognitivas

Como vimos anteriormente, têm sido identificadas correlações positivas, ainda que quase sempre moderadas, entre algumas medidas das competências lógico-formais (piagetianas) e o rendimento dos alunos em disciplinas de ciências (Cantu e Herron, 1978; Garnett et al.,1985; Lawson, 1982a; Lawson e Renner, 1975; Padilla et al., 1983; Sayre e Ball, 1975). Isso suporta a hipótese de que essas competências constituem uma variável a considerar na explicação das diferenças individuais verificadas nesses rendimentos.

Para o caso especial da física, as correlações identificadas vão de zero a valores da ordem de 0,50 (Billeh e Khalil, 1982; Griffith, 1985; Liberman e Hudson, 1982). Os resultados obtidos por Liberman e Hudson levaram estes autores a formular a conclusão de que o nível de pensamento formal (piagetiano) é uma condição necessária (um pré-requisito), embora não suficiente, para o sucesso dos alunos em física, especialmente em mecânica.

Regra geral, assume-se, tacitamente, que os alunos de física já preenchem essa condição, ou seja, já dominam uma parte significativa das competên-

cias de pensamento lógico-formal, adequadas a lidar com as abstracções da disciplina (Renner, 1986). Muitos dos currículos, programas, manuais didácticos e, até, as lições dos professores são frequentemente concebidos na base desse pressuposto.

Vários estudos têm, todavia, mostrado que uma considerável percentagem de alunos do ensino secundário tende a usar predominantemente esquemas de pensamento lógico concretos, em vez dos esquemas formais (Cantu e Herron, 1978; Chiappetta, 1976 e Garnett et al.,1985, nos Estados Unidos; Shayer, 1978; Shayer e Adey, 1981, em Inglaterra; Sequeira, 1981, em Portugal; Billeh e Khalil 1982, na Jordânia). Criam-se, assim, disfunções cognitivas entre o que potencialmente a física exige dos alunos e as capacidades e competências que estes conseguem efectivamente desenvolver.

Essas disfunções são ainda mais agravadas pelo facto de na física predominarem os conceitos abstractos ou formais, relativamente aos conceitos concretos (Renner e Grant, 1978; Lawson e Renner, 1975). Lawson (citado em Renner e Grant, 1978) descreve os *conceitos concretos* como aqueles cujo significado pode ser desenvolvido a partir da experiência directa com objectos ou acontecimentos; *conceitos formais,* por outro lado, são, para o autor, aqueles cujos significados são derivados por dedução a partir de outros conceitos (concretos ou não).

Tentando comprovar a referida predominância de conceitos abstractos nos programas de física, Renner e Grant (1978) fizeram uma análise de seis volumes da conhecida obra *Project Physics,* usada em escolas secundárias americanas, e tentaram categorizar os conceitos de física neles contidos. Não contando com conceitos relacionados com os aspectos históricos, filo-

sóficos, sociológicos ou epistemológicos, e também com aqueles que eram de natureza puramente matemática, classificaram os restantes em duas grandes classes: conceitos mais gerais e mais compreensivos e conceitos mais específicos e menos compreensivos. Tendo em conta a forma como o conceito era apresentado, concluíram que todos os conceitos gerais (130 no conjunto dos seis volumes) eram de natureza formal. Dado que existem razões suficientes para pensar que as conclusões do estudo levado a cabo para o *Project Physics* se repetiriam se outro tivesse sido o manual analisado, percebe-se a dificuldade (e até a relutância) que os alunos sentem, em geral, pelos manuais de física.

Mas os desajustamentos (ou as dissonâncias) entre as exigências impostas pela aprendizagem da física escolar e as reais competências cognitivas dos alunos ganham especial incidência no campo específico da mecânica. O nível de pensamento formal exigido é aqui relativamente mais elevado (Chiappetta, 1976; Griffith, 1985; Hestenes, 1979, 1987), o que faz com que a "opacidade" ou impenetrabilidade de aprendizagem atribuídas à física ganhem na área da mecânica contornos mais acentuados.

Como explicar essa situação? Julgamos que ela tem a ver, simplesmente, com o refinamento na mecânica das condicionantes e impedimentos de aprendizagem que apontámos para a física, encarada na sua globalidade. E esse refinamento está associado ao que poderemos chamar uma maior "densidade de abstracção", densidade essa já salientada por Mach (1919) ao afirmar que "os fenómenos puramente mecânicos não existem" (p. 495): são meras abstracções realizadas com a única finalidade de facilitar a compreensão das coisas.

Natureza Contra-Intuitiva dos Conceitos de Mecânica

Essa elevada densidade de abstracção que caracteriza os conceitos de mecânica confere-lhes uma faceta contra-intuitiva, a níveis por vezes insuspeitados, como o atestam as investigações de Piaget, relacionadas com a psicogénese de alguns conceitos cinemáticos básicos.

Em 1928, Albert Einstein sugeria a Jean Piaget a investigação da ordem sob a qual as crianças adquirem as noções de tempo e velocidade e a verificação de qual desses conceitos era mais intuitivo. Tal investigação interessava bastante a Einstein, em virtude das disparidades existentes entre a sua teoria relativista e a teoria newtoniana, relativamente às relações entre a noção de tempo e a noção de velocidade. Por um lado, a mecânica newtoniana concebia o tempo como noção fundamental e a velocidade como noção derivada (deslocamento por unidade de tempo); por outro, a teoria da relatividade definia tempo e velocidade em função um do outro, sem tomar nenhum deles como fundamental.

É assim que, quase vinte anos mais tarde, Piaget (1969, 1970) publica dois livros — *The Child's Conception of Time* e *The Child's Conception of Motion and Speed* — cujo conteúdo continha a resposta ao desafio de Einstein. A conclusão principal a que Piaget chegou foi a de que a psicogénese das noções de tempo e de velocidade parecia ser bastante mais complexa do que inicialmente se supunha. Isso era particularmente verdade para o caso da noção de tempo, tanto mais que era até aí consensual que se tratava de uma noção fortemente intuitiva e, por isso, de fácil apreensão e rápido desenvolvimento.

Contrariamente aos pressupostos da mecânica newtoniana, o tempo não parecia constituir para as crianças uma ideia *a priori* (leia-se "intuitiva").

Em vez disso, parecia sofrer um desenvolvimento gradual, em simultâneo com as noções de velocidade e de distância (ou espaço). Esse desenvolvimento iniciava-se a um nível sensório-motor, passava depois por uma fase intuitiva não operacional e culminava, finalmente, num estádio operacional, primeiro concreto e depois abstracto (Piaget, 1969, 1970).

Siegler e Richards (1979) retomam posteriormente o assunto e confirmam as conclusões de Piaget quanto à existência de desenvolvimento regular mas descontínuo para aqueles três conceitos. Todavia, as suas conclusões divergem num ponto importante: enquanto Piaget se referia a um desenvolvimento a par, estes autores notaram a existência de desfasamento, apontando os seus resultados para um amadurecimento mais tardio da noção de tempo e, em certa medida, da noção de espaço, relativamente ao que Piaget havia reportado.

Pese embora as divergências pontuais entre os dois estudos, uma conclusão importante parece de admitir: a de que nem o tempo, nem a velocidade, nem mesmo o espaço são noções puramente intuitivas; experimentam todas três um processo de desenvolvimento regular e algo moroso. Aliás, Piaget (1969) afirma mesmo que existe uma fase no desenvolvimento da criança em que esta nem sequer imagina o tempo como uma propriedade comum a todos os fenómenos:

> We are far too readily tempted to speak of intuitive ideas of time, as if time, or for that matter space, could be perceived and conceived apart from the entities or events that fill it. (p. 1)

É claro que estas conclusões se referem a crianças pequenas. Pode argumentar-se que elas não têm pertinência no caso de adolescentes, os quais há muito que terão adquirido o domínio dessas noções. Isso seria verdade se não fosse a abundante evidência das dificuldades dos alunos do ensino

secundário, mesmo com conceitos "elementares" como os que acabámos de referir. Fica, assim, a conclusão de que, como antes assinalávamos, mesmo noções básicas e aparentemente "intuitivas" como as de tempo, velocidade e espaço, oferecem, na verdade, dificuldades inesperadas. E se isso acontece com essas noções básicas, é óbvio e notório que dificuldades acrescidas advirão quando se pensa em conceitos bem menos intuitivos como é, por exemplo, o caso da aceleração. Os conceitos de mecânica (tal como os conceitos de física, na sua generalidade) enfermam, assim, de maior ou menor contra-intuitividade, facto que constitui, só por si, um sério constrangimento imposto à sua aprendizagem, sobretudo em alunos não apetrechados com uma das ferramentas que aí joga um papel fundamental: o pensamento lógico de tipo formal.

Complexidade Estrutural das Teorias da Mecânica

Para além da natureza abstracta e contra-intuitiva dos conceitos de mecânica, uma dificuldade suplementar se levanta. A "física escolar" torna-se tanto mais complicada e hermética para os alunos quanto mais denso e complexo for o formalismo com que é apresentada, ou seja, quanto mais estruturada for a lógica da sua construção. Na opinião de Mach (1919), isso é particularmente verdade no caso da mecânica clássica. O autor refere-se à *desnecessidade de algumas proposições do formalismo newtoniano,* as quais considera serem pura redundância e fonte de confusão para os alunos que quererão ver diferenças onde nem os próprios cientistas parecem tê-las encontrado.

Mach relembra, por exemplo, que Galileu descobriu a "lei da inércia" bastante acidentalmente, parecendo ela não ter jogado um papel proeminente

no seu pensamento. No entanto, os sucessores de Galileu, nomeadamente Huyghens e Newton, formularam-na como uma lei independente. Para Mach, essa lei não é de modo nenhum uma lei independente: está contida implicitamente na percepção de Galileu de que todas as circunstâncias que determinam o movimento, ou seja as forças, produzem aceleração. Na verdade, se uma força determina não a posição, não a velocidade mas a mudança desta, ou seja, a aceleração, daí decorre que onde não existir força não existirá mudança de velocidade e, por isso, não haverá aceleração. "Não é necessário enunciar isto de forma independente" (Mach, 1919, p. 143), ainda por cima com o estatuto de lei. Mach demonstra, ainda, que os enunciados da 1.ª e da 2.ª leis de Newton estão contidos na definição de força, incorrendo Newton, a seu ver, e quanto a esse respeito, em meras tautologias:

> It is wholly unnecessary tautology, after having established acceleration as the measure of force, to say again that change of motion is proportional to the force. (p. 242)

O que aqui assume pertinência é, sobretudo, a constatação de que a proclamada simplicidade lógico-estrutural do sistema newtoniano é, no mínimo, uma questão controversa, com as implicações óbvias que daí advêm para o ensino e para a aprendizagem.

A sintetizar, diremos que a mecânica nos coloca perante um dilema pedagógico importante, no que toca à sua interacção com as competências do pensamento formal. Por um lado, dadas as suas características intrínsecas, a mecânica poderá constituir um mediador adequado para ajudar os alunos a desenvolverem as operações de pensamento formal; por outro, a compreensão da mecânica, principalmente das abordagens habitualmente adoptadas para a ensinar, exige precisamente o funcionamento efectivo dessas

operações. É iniludível o dilema e notório o círculo vicioso. É um facto indesmentível que a maior parte dos adolescentes, quando aborda mecânica pela primeira vez, ainda não atingiu um nível de funcionamento cognitivo compatível com as exigências formais que o assunto implica. Parece, por isso, estarmos perante um impasse pedagógico: ensinar mecânica para desenvolver capacidades formais? Ou esperar que estas estejam desenvolvidas para ensinar mecânica?

Julgamos que a resolução deste impasse implica abordagens distintas das que tradicionalmente são adoptadas. Estas, por colocarem a tónica em aspectos abstractos e formais, impõem obstáculos de aprendizagem manifestos. Esses obstáculos poderão, só por si, justificar o insucesso real dos alunos na aprendizagem destas matérias.

Para a Compreensão das Dificuldades dos Alunos em Mecânica

As Teorias Pré-Galileanas como Ajuda

A mecânica, talvez mais do que outro ramo da física (ou mesmo da ciência), é um assunto em que todos nós aprendemos qualquer coisa com ele relacionado, praticamente desde que nascemos. De facto, todos desenvolvemos uma espécie de "teoria do movimento" para cada contexto em que o movimento ocorre; essas teorias servem para "explicar" o que acontece numa forma que, muitas vezes, nos satisfaz, pelo menos em cada contexto tomado isoladamente (Novak, 1988; West e Pines, 1985).

Todavia, essas teorias espontâneas e intuitivas estão frequentemente em desacordo com as leis de Newton. Com efeito, foi-se gradualmente compreendendo que o conhecimento prévio dos alunos no respeitante a fenómenos do âmbito da mecânica está, de facto, profundamente enraizado nos seus sistemas de construtos naturais e quase sempre em dissonância com o conhecimento científico, ou seja, com os pressupostos da teoria newtoniana (Warren, 1979). Ao abordar a mecânica, o aluno é, assim, confrontado com duas formas diferenciadas de ver o mundo: uma concreta, intuitiva e de senso comum, estruturada com base na sua lógica natural (visão de tipo idiossincrático); outra abstracta e estruturada com base numa lógica formal não natural (visão científica oficial e ortodoxa).

Dado que as concepções espontâneas dos alunos, relacionadas com os tópicos de mecânica, apresentam algumas semelhanças com as ideias da física pré-clássica, nomeadamente aristotélica, dedicamos o ponto seguinte ao estabelecimento de uma breve síntese dessas ideias. Convém, no entanto, frisar — agora mais detalhadamente do que o já antes realizado — que é de semelhanças pontuais que falamos e não propriamente de identificação.

Na verdade, embora os sistemas de crenças dos alunos em mecânica sejam frequentemente apelidados de "aristotélicos", julgamos ser esse um termo inapropriado (e mesmo injusto), até porque essas crenças estão, em geral, mais próximas da teoria medieval do *impetus* (Halloun e Hestenes, 1985a; Koyré, 1986). Koyré julga mesmo imperioso "reagir contra um certo menosprezo" da obra aristotélica, o qual, na sua opinião, surge hoje em dia com "demasiada frequência" (Koyré, 1992, p. 21). Referindo-se à teoria de Aristóteles sobre o movimento como "uma admirável teoria coerente", Koyré qualifica-a nos seguintes moldes:

> A física de Aristóteles é falsa, bem entendido, e completamente ultrapassada. Todavia, é uma "física", quer dizer, uma ciência altamente elaborada, ainda que o não seja matematicamente. Não se trata de um imaginário pueril ou de um enunciado (...) grosseiro do senso comum, mas de uma teoria, isto é, de uma doutrina, que, partindo naturalmente dos dados do senso comum, os submete a um tratamento coerente e sistemático. (p. 22/23)

Na mesma linha, Piaget (1987), apesar de encarar a mecânica aristotélica como "uma teoria da mecânica, de que não resta nada" (de cientificamente válido), caracteriza-a, em contrapartida, como "um sistema de uma lógica impecável", a isso se devendo o seu "êxito multissecular, já que foi necessário esperar até Newton para encontrar um sistema tão coerente" (p. 43).

Dificilmente os sistemas de senso comum serão passíveis de alcançar essa "coerência" ou essa "lógica impecável". É por isso totalmente justificada a nossa crítica àquelas situações em que as ideias espontâneas dos alunos sobre os tópicos de mecânica são rotuladas simplesmente (sem ressalvas) de "aristotélicas". É a verdade histórica e o respeito devido a um dos pilares fundamentais do legado intelectual humano que são, desse modo, postos em causa.

Aristóteles e o Movimento. Aristóteles foi o primeiro pensador a desenvolver de forma sistemática formulações explícitas (de cariz qualitativo) relacionadas com os fenómenos físicos, sobretudo com os do movimento, e a organizá-las num sistema conceptual coerente e sistemático.

Nesse sistema, a noção de *movimento* aparece identificada com a ideia de *mudança.* É assim que Aristóteles considerava existirem *quatro tipos de movimento,* uma vez que concebia quatro tipos de mudança: mudança de

substância, mudança de qualidade, mudança de quantidade e mudança de lugar ou de posição. É a este último tipo de "movimento aristotélico" que corresponde o conceito actual de movimento (Grant, 1977).

Nessa acepção estrita, Aristóteles falava de dois tipos de movimento: *movimentos naturais* e *movimentos violentos* ou "forçados", conforme correspondiam a deslocações dos corpos no sentido de recuperarem o seu *lugar natural* no universo ou a perturbações dessa ordem natural por efeito de agentes exteriores ou "violências". Logo que essa violências cessassem, o corpo tenderia imediatamente a recuperar o equilíbrio perdido ou perturbado, ou seja, a regressar ao seu estado natural, o repouso.

Cada coisa possui, no universo de Aristóteles, um lugar próprio, conforme à sua natureza. Existe "um lugar para cada coisa e cada coisa no seu lugar"; a noção de "lugar natural" traduz, no fundo, a crença na existência de um *cosmos,* ou seja, de um todo (natural) bem ordenado (Koyré, 1992).

Daí resulta a desnecessidade de explicar o repouso, pelo menos o repouso de um corpo no seu lugar próprio no cosmos; "é a sua própria natureza que o explica — que explica, por exemplo, o repouso da Terra no centro do mundo" (Koyré, 1992, pp. 23/24).

Dessa forma, um movimento (qualquer movimento) é para Aristóteles um simples processo transitório. O movimento natural acaba naturalmente quando atinge o seu fim. E mesmo o movimento violento, gerador de desordem, não pode prolongar-se indefinidamente, já que "nada do que é *contra naturam potest esse perpetuum* " (Koyré, 1992, p. 24); admitir um movimento violento perpétuo, seria, no fundo, pôr em causa a própria ideia de cosmos.

Mas, ao contrário do repouso, o movimento não pode passar sem uma explicação, uma causa ou "motor": "Retirai a causa, e o movimento cessará" (Koyré, 1992, p. 28). E como causas ou "motores" do movimento, Aristóteles considera dois tipos radicalmente distintos, correspondentes, respectivamente, aos dois tipos de movimento antes mencionados (naturais e violentos):

1. Em primeiro lugar, uma *causa intrínseca,* ligada, precisamente, à tendência "natural" de cada corpo para ocupar no cosmos o lugar que lhe está reservado. Essa tendência natural depende da composição do corpo: os *corpos pesados,* compostos sobretudo de terra e/ou água, estão dotados de *gravidade*, propriedade associada a uma tendência centrípeta de movimento, isto é, a um movimento natural no sentido do centro da Terra; os *corpos leves,* compostos essencialmente de ar e/ou fogo, estão dotados da propriedade de *leveza*, sendo esta relacionada agora com uma tendência centrífuga de movimento relativamente ao centro da Terra.

   Tudo isto se encontra, como é evidente, bastante afastado das concepções de senso comum dos dias de hoje; excepto, talvez, a noção de que a gravidade é uma tendência que os corpos pesados têm para cair. Todavia, muitos alunos partilham com Aristóteles a ideia de que a velocidade da queda de um corpo é directamente proporcional ao seu peso. Num sistema apropriado de unidades — aspecto não considerado em Aristóteles, até porque a sua física era essencialmente qualitativa —, a *lei da queda dos corpos* poderia ser matematicamente escrita do seguinte modo: $v = P/R$, sendo v a velocidade, P o peso e R a resistência do meio. Quer dizer: a velocidade de queda seria, na verdade, directamente proporcional ao

peso do corpo; ou, o que é equivalente, os corpos pesados cairiam sempre mais depressa do que os corpos leves.

2. Em segundo lugar, uma *causa extrínseca,* proporcionada por algum agente ou "motor externo", constantemente unido ao móvel. Suprimindo-se o motor, o móvel pararia; separando-se o motor do móvel, este pararia igualmente.

As *forças à distância* eram, como se compreende, entidades incompatíveis com a conceptualização de Aristóteles. Por outro lado, só os seres vivos tinham a faculdade de exercer forças e, mesmo assim, desde que em contacto directo com o móvel ou indirectamente mas através de um meio material. Os seres não-vivos, concebidos como incapazes de exercer forças, constituíam simples *obstáculos* que, interpondo-se no caminho do corpo, poderiam influenciar o seu movimento mas sem exercer qualquer força.

Além disso, decorre das premissas de Aristóteles a conclusão de que uma *força constante imprimiria ao corpo uma velocidade também constante,* sendo esta inversamente proporcional à resistência do meio. Numa eventual relação quantitativa, essa lei aristotélica seria: $v = F/R$[10]. Inspirados naquela relação entre força e velocidade, os seguidores de Aristóteles vieram a concluir que um aumento na velocidade (aceleração) teria necessariamente de ser conseguido através de um aumento na força ou, no caso da queda livre, através de um aumento no peso do corpo — como sabemos, a mecânica newtoniana prevê que esse aumento de velocidade possa ser conseguido mesmo por acção de uma força constante.

---

[10] A grande conquista da mecânica do século XVII, ao introduzir de modo explícito a noção de *inércia* (a qual parecia absurda a Aristóteles), será a de ligar a força à aceleração e não à velocidade.

Como anteriormente assinalámos, Aristóteles supunha que na ausência de qualquer força (intrínseca ou extrínseca), o único estado dinâmico admissível para um corpo seria o repouso (seu estado natural) — diferentemente do estipulado pela mecânica newtoniana que, nessa situação, lhe permite, também, um estado de movimento uniforme e rectilíneo. Essa suposição é, todavia, recorrentemente desmentida pela prática quotidiana: por exemplo, pela "prática do arremesso de uma pedra", ao qual corresponde um movimento que prossegue, apesar da ausência de um motor intrínseco ou extrínseco (Koyré, 1987).

Para explicar esse movimento sem motor, Aristóteles viu-se, assim, obrigado a atribuir ao meio propriedades motoras, tal como antes lhe havia atribuído propriedades resistivas. Desse modo, a pedra ou o projéctil arremessados seriam impelidos constantemente, devido a um efeito turbilhonante no ar envolvente, assim se transmitindo a força inicial exercida pelo agente lançador.

Críticas a essa argumentação *ad hoc,* levaram, na Idade Média, a uma *revisão da teoria de Aristóteles,* revisão essa que ficou conhecida por *teoria do impetus* (ou física do *ímpetus*), "inaugurada", como diz Koyré (1992), "como todas as coisas, pelos Gregos" (p. 19), mas elaborada sobretudo no decurso do século XIV, pela escola parisiense de João Buridan.

Antes de voltarmos a essa questão, vale todavia a pena determo-nos um pouco numa outra particularidade da física aristotélica, a saber, a *negação do vazio e do movimento no vazio.* Aristóteles encarava o movimento no vazio como pura ficção. A sua teoria do movimento trata, por isso, apenas de corpos imersos num qualquer meio material.

A negação do vazio é compatível com a tese de "lugar natural" e da correlativa tendência de cada corpo em se encontrar no seu próprio lugar e a lá voltar sempre que, por violência, de lá tenha sido afastado. O regresso ao lugar natural, após cessar essa violência, faz-se pelo caminho mais curto e mais rápido. Ou seja, qualquer movimento natural há-de sempre ser efectuado em linha recta e tão depressa quanto o meio envolvente o permita.

No vácuo, isto é, na ausência de matéria que lhe opusesse resistência, o movimento do corpo far-se-ia a uma velocidade infinita, quer dizer, instantaneamente. Porém, dado que um movimento instantâneo parecia a Aristóteles — não sem razão, tal como Einstein nos ensina —, totalmente absurdo, daí a impossibilidade de se efectuar movimento no vazio. Além do mais, no vazio não poderia haver lugares naturais: um corpo, no vazio, não teria direcções privilegiadas para se mover; não teria, afinal, e em absoluto, qualquer razão para se mover.

Contributos Medievais: a Ideia de *Impetus*. Os adversários da física aristotélica colocaram sempre como principal objecção à sua validade a observação quotidiana da ocorrência e persistência de movimentos de móveis separados do motor. É assim que os exemplos clássicos de um tal tipo de movimento (a pedra lançada, a flecha que voa, a mó que roda) se encontram nos críticos de Aristóteles, de Hiparco e João Filópono a Buridan, Nicolau Oresme e Alberto da Saxónia, primeiro, e a Leonardo da Vinci, Benedetti e Galileu, posteriormente (Koyré, 1992).

João Filópono, um grego crítico de Aristóteles do século VI da nossa era, e que alguns consideram o verdadeiro inventor do *impetus* (Koyré, 1986), foi dos primeiros pensadores a refutar, de forma consistente, a tese de

Aristóteles para a explicação dos movimentos violentos que prosseguem sem motor. Sublinha, mesmo, a impossibilidade de um corpo grande e relativamente pesado poder ser movido pela reacção do ar.

Filópono contrapõe a essa explicação a hipótese de que a causa que permite por exemplo a uma pedra lançada ao ar continuar em movimento, depois de ter deixado a mão do lançador, é "uma força motriz incorpórea" comunicada pelo lançador. Um outro dos argumentos que desde Filópono foram admitidos contra a dinâmica de Aristóteles assinala o carácter contraditório da atribuição ao ar de um duplo papel no movimento: o de resistência e o de motor (Koyré, 1986; Piaget, 1987).

As propostas de Filópono não terão, no entanto, tido no imediato grande influência e não terão sido elas a impedir a aceitação das ideias de Aristóteles. É assim que, durante praticamente toda a Idade Média, o mundo ocidental i-las-á praticamente ignorar. Todavia, no mundo árabe, irá emergir, a partir de Avicenas (980-1307), uma linha de pensamento fortemente inspirada nessas propostas.

Para esses autores árabes, a "força motriz incorpórea" era conhecida como *mail* (inclinação ou tendência). A tradução da sua obra parece ter influenciado directamente a influente escola do *impetus*, a qual surgirá em Paris no século XIV, dinamizada por Buridan e seus continuadores, em especial Nicolau Oresme.

E seria justamente Buridan — a que muitos autores (ex., Grant, 1977) atribuem, de facto, a paternidade daquela noção — a apresentar uma teoria mais elaborada e mais consistente. Buridan concebia o *impetus* como uma *força motriz* transmitida ao corpo pelo agente que o coloca em movimento. A velocidade e a quantidade de matéria (massa) de um corpo eram tomadas

como medidas da intensidade do *impetus* ; essas são precisamente as variáveis que entram na definição newtoniana de "momento linear" (ou "quantidade de movimento"). Com uma grande diferença: enquanto o *impetus* era encarado como uma causa do movimento, o momento linear newtoniano é antes concebido como uma medida do efeito do movimento, como a "quantidade (intensidade) desse movimento" (Grant, 1977; Piaget, 1987).

Mas que era, afinal, o *impetus,* essa força motriz, imanente ao móvel e causa do movimento? Reconhecendo ser "difícil dizer o que é" (ou como era concebida), Koyré (1992), baseando-se na obra do cientista italiano do século XVI João Baptista Benedetti — partidário da física "parisiense" e um dos principais inspiradores de Galileu —, Koyré, dizíamos, dá do impetus a seguinte descrição:

> É uma espécie de qualidade, potência ou virtude que se imprime ao móvel ou, melhor, que o impregna por ocasião, e como consequência, da sua associação com o motor (...) por ocasião e como consequência da sua participação no movimento. É também uma espécie de habitus que o móvel adquire, e isto tanto mais quanto mais tempo estiver submetido à acção do motor. (p. 60)

***Impetus* : uma Ideia Apelativa.** Apesar de alguma oposição, as teorias medievais do *impetus* (ou das "forças impressas") exerceram influência constante no século XVI: no início da sua carreira na Universidade de Pisa, o próprio Galileu se tornou um seu proponente entusiasta, desenvolvendo, mesmo, a "teoria das forças impressas" dos seus predecessores (Drabkin e Drake, 1960; Grant, 1977; Koyré, 1992) — ver, a esse respeito, a nota antes incluída relativa à grande influência de Benedetti no jovem Galileu.

No seu (não publicado, em vida) tratado *de Motu* — que, de acordo com Koyré (1986), constitui, curiosamente, "uma das melhores exposições da

dinâmica do *impetus* " (p. 37) —, Galileu procurou explicar o movimento forçado de subida e subsequente descida de corpos pesados. Como base da sua explicação, adoptou a ideia de uma *força residual,* ideia essa que derivou de Hipparchus; a ela juntou o mecanismo de uma "força incorpórea impressa", ou seja, do *impetus* medieval:

> Projectiles can in no way be moved by the medium, but only by a motive force impressed by the projector. (Palavras de Galileu, retiradas do tratado *de Motu*, editado em 1890 por António Favaro, e traduzidas para inglês por Drabkin e Drake, 1960, p. 84)

Para além disso, o título do capítulo XVIII desse mesmo tratado é assim iniciado:

> In which [cap. XVIII] it is shown that the motive force is gradually weakened in the moving body. (Galileu, citado por Drabkin e Drake, 1960, p. 84)

A noção de força subjacente às palavras de Galileu não é de modo nenhum aquela que Newton veio a consagrar — e, mesmo assim, numa fase já relativamente avançada do seu trabalho (Steinberg, Brown e Clement, 1990). O simples facto de Galileu falar em "força motriz impressa" é, só por si, revelador do carácter intuitivo e apelativo dessa noção — não é por acaso que Koyré se lhe refere metaforicamente como "um condensado de senso comum". Além disso, a expressão "força impressa", utilizada por Galileu, mostra que o seu pensamento não constitui — ao contrário do que durante muito tempo foi a versão oficial —, um corte radical com as teorias medievais do *impetus* e das "forças impressas" (Drabkin e Drake, 1960; Koyré, 1992; Piaget, 1987).

Aliás, os estudos de Koyré sobre Galileu levam inclusivamente aquele autor a afirmar que nas obras de juventude de Galileu é possível reencontrar em sucessão aquilo que, *grosso modo,* foram as três etapas de evolução do

pensamento científico (físico) pré-galileano, correspondentes a "três tipos de pensamento" e que são, justamente, a física aristotélica, primeiro, a física do *impetus,* depois, e a física matemática, experimental, arquimediana ou galilaica, por fim (Koyré, 1992).

Este excerto da história da ciência constitui, para nós, simultaneamente um bom exemplo de como a mudança conceptual em ciências (fundamentalmente em mecânica) é tarefa árdua e morosa, e de como o uso indevido da história da ciência para fins didácticos contribui para a criação de mitos inibidores de análises correctas do que é, na verdade, o empreendimento científico: localiza-se, com frequência, Galileu na última etapa do seu desenvolvimento científico (da sua mudança conceptual e metodológica), como se todo o percurso anterior não tivesse contribuído para esse estádio final, isto é, para a construção do grande cientista e pensador que inegavelmente foi; como se as suas ideias já mais avançadas, aquelas que mais contribuíram para a consolidação da Ciência Moderna, tivessem surgido por simples inspiração momentânea e intuitiva, quase como verdade revelada.

Uma vez apresentada uma *panorâmica* (necessariamente sumária) das perspectivas e propostas pré-galileanas sobre a física do movimento, é chegado o momento de as colocarmos em confronto directo com as correspondentes perspectivas ou concepções espontâneas dos alunos. A tarefa a que nos iremos propor no ponto que em baixo se inicia tem, desse modo, um objectivo duplo:

- Pretende, por um lado, estabelecer uma caracterização — tão exaustiva quanto o permitem os constrangimentos a que um traba-

lho desta índole está submetido — das dificuldades e concepções próprias dos alunos, a respeito dos conceitos e princípios básicos da "mecânica escolar".

- Visa, por outro, mostrar que, efectivamente — salvaguardadas as devidas diferenças já suficientemente apontadas —, existem importantes afinidades entre essas dificuldades e essas concepções dos alunos e aquelas que foram sendo enfrentadas e sustentadas pelos "homens da ciência", ao longo da prolongada e nunca acabada evolução dos conceitos científicos[11]. Alcançado esse objectivo, fica simultaneamente afirmada a importância da história da ciência na compreensão e iluminação das dificuldades e concepções de uns e outros, isto é, de alunos e professores.

Por considerarem que a investigação acerca do conhecimento espontâneo dos alunos incide, em geral, sobre conceitos isolados, Halloun e Hestenes (1985b) apostaram numa investigação mais ampla e mais integrada. Para isso, construíram e validaram um instrumento suficientemente compreensivo e extensivo para diagnosticar o estado inicial do conhecimento dos alunos, relativamente aos tópicos fundamentais de mecânica.

Num outro trabalho inserido no mesmo projecto (Halloun e Hestenes, 1985a), os mesmos autores fazem ressaltar a necessidade de o ensino da mecânica (mais, até, do que outras áreas da física) ter em conta o estado de conhecimento (espontâneo e intuitivo) inicial dos alunos. E, na convicção de que para que isso aconteça é conveniente sistematizar as concepções e dificuldades já identificadas por outros investigadores, tentam organizar

[11] Tenta-se, ilustrar, no fundo, o *paralelismo parcial,* de que fala Piaget (1987), entre a sociogénese e a psicogénese dos conceitos fundamentais de mecânica.

aquilo a que chamam uma *taxonomia de conhecimentos de senso comum do movimento.*

É claro que, idealmente, não pode de deixar de ser ciclópica (para não dizer utópica) a tarefa em que esses autores se envolveram, tendo em conta a já discutida variabilidade inter e intra-individual das concepções espontâneas dos alunos. De qualquer modo, e em termos práticos, será sempre possível chegar a uma sistemática das concepções mais significativas, das "crenças mais comuns", presentes na literatura, a qual possa servir de guia a investigadores e professores. Foi isso que Halloun e Hestenes fizeram para construir a sua taxonomia. Por a considerarmos bastante completa e elucidativa, servir-nos-emos dela como apoio à nossa própria sistematização.

Aprendizagem dos Conceitos de Cinemática: Sistematização de Dificuldades

> Os Gregos não resolveram o paradoxo de Zenão, e levou à humanidade 2000 anos a inventar e clarificar os conceitos de cinemática tal como hoje os conhecemos.
>
> — *A. Arons.*

Inúmeros estudos têm demonstrado que os alunos revelam sérias dificuldades na aprendizagem dos conceitos cinemáticos, dificuldades essas que se levantam tanto com conceitos difíceis como o de aceleração (Peters, 1982; Trowbridge e McDermott, 1981) como com conceitos " mais simples" como os de posição ou velocidade (Peters, 1982; Trowbridge e McDermott, 1980).

Tentando avaliar o grau de incidência dessas dificuldades, Saltiel e Malgrange (1980) realizaram um estudo em que procuraram analisar os

conhecimentos espontâneos dos alunos em cinemática elementar. No estudo participaram 80 alunos com idades à volta de 11 anos e cerca de 700 alunos do primeiro e segundo ano da universidade. Com alguma surpresa, obtiveram tipos de respostas que pouco diferiam relativamente às duas amostras, facto que parece atestar a dificuldade manifesta deste tipo de conceitos. Entre essas dificuldades, merecem particular discussão as que em baixo se enunciam.

Valores instantâneos e intervalos correspondentes. Os alunos encaram o termo "instante" como referindo-se a *um intervalo de tempo* de duração eventualmente curta mas, ainda assim, finita. Para muitos autores, essa imprecisão pode muito bem ser em parte provocada pela escassa preocupação de professores e manuais didácticos em, nas suas explicações, discriminarem claramente as leituras instantâneas da variável tempo dos intervalos de tempo (diferenças entre essas leituras instantâneas) correspondentes.

Algo de parecido ocorre também entre as noções de *posição* (instantânea) e de *variação de posição* (ou deslocamento) ou entre *velocidade* (instantânea) e *variação de velocidade*. Pode, aliás, seguramente afirmar-se que esta confusão entre os valores instantâneos de uma grandeza e as correspondentes variações ou diferenças é um problema de aprendizagem que perpassa por toda a física (potencial e diferença de potencial, energia e variação de energia, por exemplo).

Indiferenciação de grandezas. É frequente os alunos, quando colocados perante situações concretas, não diferenciarem as noções de posição, des-

locamento, espaço e velocidade (Piaget, 1969, 1970), por um lado, ou velocidade e aceleração, por outro (Valente e Neto, 1992).

Mas não se pense, porém, que tal confusão constitui um exclusivo dos mais jovens (de níveis de escolaridade menos avançados). Com efeito, estudos (repetidamente citados) realizados por Trowbridge e McDermott (1980, 1981) com alunos universitários, levaram os investigadores a concluir que uma das principais dificuldades desses alunos com o conceito de velocidade — mesmo depois de terem recebido instrução formal no âmbito da cinemática — estava associada a uma bastante difundida incapacidade de discriminarem claramente entre posição e velocidade, quando confrontados com situações experimentais apropriadas. Para muitos desses alunos, quando dois corpos, movendo-se no mesmo sentido e na mesma direcção, passavam um pelo outro, tinham, no local de ultrapassagem, o mesmo valor de velocidade; além disso, os mesmos alunos associavam "ir à frente" com "ir mais depressa" (ver, também, Jones, 1983).

Conceito de velocidade. Uma das mais sérias dificuldades com o conceito de *velocidade instantânea* prende-se com a sua definição quantitativa, assente numa *operação de passagem ao limite,* ou seja, *numa taxa de variação* (Arons, 1981). Rosenquist e McDermott (1987) consideram tratar-se de uma questão "subtil", praticamente desprovida de qualquer apoio observacional directo. Propõem, nesse sentido, que a introdução dessa noção, em vez de assente numa operação de passagem ao limite canónica, seja antes introduzida a níveis mais concretos e mais facilmente visualizáveis pelos alunos.

Acresce àquela dificuldade o facto de, amiúde, os alunos não dominarem convenientemente o conceito de *posição instantânea,* antes de serem introduzidos nesse ainda mais sofisticado conceito de velocidade instantânea. Para Arons (1979a, 1979b), seria importante que o conseguissem, dado que o conceito de posição instantânea "contém todas as subtilezas de uma quantidade instantânea" sem, no entanto, envolver a dificuldade que uma taxa de variação (velocidade instantânea) coloca. A não apropriação do significado de taxa de variação (neste caso temporal) leva os alunos a conceberem a velocidade como "deslocamento a *dividir* pelo tempo" e não como "deslocamento *por unidade* de tempo"; daí à não diferenciação entre velocidade instantânea e velocidade média vai um simples passo.

Conceito de aceleração. Tal como acontece com a velocidade, a dificuldade básica do conceito de aceleração reside no facto de ele ter subjacente uma taxa de variação temporal de uma grandeza (a velocidade) que, por sua vez, já corresponde a uma taxa de variação temporal de outra grandeza (a posição). Conforme sublinham Osborne e Freeman (1989), a aceleração acaba por ser uma *taxa de variação de uma taxa de variação,* com as implicações negativas óbvias que essa dupla taxa de variação acarreta para os alunos.

Uma outra dificuldade bem conhecida dos professores e dos investigadores tem a ver com a relação entre *velocidade instantânea* e *aceleração instantânea.* Em certas ocasiões, a velocidade pode ser nula (por exemplo, no ponto de altura máxima de um corpo lançado ao ar na vertical e para cima ou nos pontos de oscilação máxima de um pêndulo) sem, contudo, a aceleração instantânea o não ser. Todavia, grande parte dos alunos afirma ser também nula a aceleração. Essa ideia encontra-se largamente documentada

na literatura, particularmente nos autores que trabalham no campo das "concepções alternativas" dos alunos em mecânica (Gilbert, Watts e Osborne, 1982).

Trowbridge e McDermott (1980, 1981), nos já referenciados estudos por si levados a cabo com alunos universitários, identificaram claramente esse tipo de confusões, compreensivelmente ainda mais acentuadas do que acontecia relativamente à noção de velocidade. Era frequente nos alunos participantes a confusão entre velocidade e aceleração, entre velocidade e variação de velocidade. E mesmo nos casos em que a discriminação entre velocidade e variação de velocidade era conseguida, os alunos ignoravam o correspondente intervalo de tempo, facto que os impedia de chegar ao conceito científico de aceleração (variação de velocidade por unidade de tempo).

Dadas essas características, a aceleração é, assim, uma grandeza física exigente, que só pode ser plenamente assimilada por alunos que dominem o raciocínio proporcional ou, mais geralmente, o pensamento lógico-formal. Dado que (ver, por exemplo, Shayer e Adey, 1981) muitos desses alunos só muito tarde é que alcançam esse nível de funcionamento cognitivo, "tornar-se-ia necessário", como propõem aqueles autores, abordar inicialmente esse conceito por uma via mais concreta e intuitiva do que costuma ser a regra.

Todo o leque de dificuldades que aqui inventariámos para o caso da abordagem da cinemática, pintam um quadro algo negro no que tem a ver com a real capacidade dos alunos em se apropriarem dessa noções, algumas delas "aparentemente intuitivas" (Lovell, 1961; Piaget, 1969, 1970; Siegler e

Richard, 1979). A situação será certamente agravada quando passamos para aspectos relacionados com a dinâmica, uma vez que aí entra em jogo não só o movimento considerado em si mesmo, mas também a sua relação com as entidades que o modificam, isto é, com as forças. É dessa situação, porventura mais complexa, que tentaremos traçar a seguir uma panorâmica, necessariamente breve, mas, estamos em crer, suficientemente representativa.

Aprendizagem dos Conceitos de Dinâmica: Dificuldades Acrescidas

Tem havido numerosos estudos a evidenciar que, na verdade, os alunos experimentam sérias dificuldades na compreensão da dinâmica (Arons, 1979a, 1979b, 1990; Champagne, Klopfer e Anderson, 1980; Clement, 1982; di Sessa, 1982; Halloun e Hestenes, 1985a, 1985b; Larkin et al., 1980; McDermott, 1984; Minstrell, 1982; Viennot, 1979; White, 1983). O aparecimento agora do conceito científico de força e a sua interacção com os conceitos tipicamente cinemáticos induzem condicionantes de aprendizagem acrescidas, logo a começar pelas peculiaridades do próprio conceito de força.

Peculiaridades do conceito de força. O conceito científico de força foi, durante muito tempo, mesmo a nível epistemológico, alvo de acesos e controversos debates. Segundo Sutton (1980), o significado científico actual do termo "força" não teria estabilizado senão no século XIX . Basta só lembrar que ele se incluía entre o rol de "obscuridades metafísicas" que Mach encontrava na teoria newtoniana, mais concretamente na formulação dos *Principia.*

Obscuridade metafísica ou não, o certo é que Newton não conseguiu, com efeito, evitar algumas *ambiguidades e circularidades* na utilização do referido conceito[12]. Algumas dessas ambiguidades já foram por nós anteriormente ilustradas. Torna-se pertinente, contudo, e no sentido de vincar mais uma vez as subtilezas de um conceito (à primeira vista tão simples) como o que estamos a considerar, complementar essa ilustração com o resultado da nossa própria análise dos *Principia* .

Na Definição III, incluída nessa obra, e a propósito da introdução do conceito de inércia, Newton escreve:

> The *vis insita,* or innate force of matter, is a power of resisting, by which every body, as much as in it lies, continues in its present state, whether it be of rest, or of moving uniformly forwards in a right line. (...) this *vis insita* may, by a most significant name, be called inertia (vis inertiæ) or force of inactivity. (Newton, in Cajori, 1960, p. 2)

O termo força é nessa definição utilizado por Newton em estreita ligação com uma propriedade intrínseca ao corpo. Já não é a velha noção de *impetus* (como agente interno activador) que se encontra aqui representada; mas, o que está em jogo, é , ainda assim, uma imanência: consubstanciada agora na noção de "inércia", isto é, no "poder de resistência" do corpo em causa a alterações do seu estado de repouso ou de movimento rectilíneo e uniforme.

Mas logo a seguir, na Definição IV, Newton usa o mesmo termo força, agora em ligação com as acções do exterior sobre o corpo:

---

12 Ver, a esse respeito, a circularidade lógica referida por Arons (1990) entre o estipulado na Definição IV dos *Principia* (aquela que introduz a noção qualitativa de força aplicada) e a forma como Newton enunciou a lei da inércia.

> An impressed force is an action exerted upon a body, in order to change its state, either or rest, or of uniform motion in a right line. (p. 2)

Ou seja: Newton utilizava o *mesmo termo* "força" para representar *noções profundamente distintas*: uma, "força aplicada" (*impressed force*), relacionada com a acção do exterior sobre o corpo e responsável pelas modificações do seu estado de repouso e de movimento (ou seja pela sua aceleração); outra, interior (*innate force of matter*), associada ao conceito de inércia.

Todavia, não obstante as legítimas questões epistemológicas que se levantaram (e ainda se levantam) a propósito do conceito newtoniano de força, e mau grado os esforços empreendidos por vários cientistas proeminentes (Mach, por exemplo) para o eliminarem das teorias físicas, é, como pensa Arons (1981), muito improvável que a "força" abdique facilmente do estatuto privilegiado que ainda detém na explicação e compreensão dos fenómenos naturais. O que não significa que devam ser escamoteados ou minimizados os diversos impedimentos de aprendizagem que essa noção científica coloca.

Complexidade das leis de Newton: alguns justificativos gerais.

• *1.ª lei ou lei da inércia.*

> Every body continues in its state of rest, or of uniform motion in a right line, unless it is compelled to change that state by forces impressed upon it.
>
> — *Newton.*

Para muitos professores e manuais didácticos — a avaliar pela forma algo simplista como a abordam —, a *lei da inércia* parece ser a lei mais simples

da dinâmica newtoniana. Trata-se, contudo, de um equívoco, facilmente reconhecido se essa lei for realmente abordada até às suas últimas consequências; isto é, se o professor, ao invés das abordagens simplistas de que falávamos, optar por tratamentos conceptuais profundos e significativos. Nesse caso, virá seguramente ao de cima o facto de ser ela "mais difícil de aceitar" pelos alunos do que se pensaria (Osborne e Freeman, 1989); inaceitação essa já reconhecida (e explicada) por Mach que, tal como já assinalámos, a considerava mera tautologia no sistema formal newtoniano.

Pode dizer-se que o problema de compreender a 1.ª lei é que os conceitos e fenómenos abstractos que a configuram estão em conflito praticamente total com a experiência quotidiana. Na verdade, sabemos, dessa experiência, ser por exemplo necessário fazer esforço para nos movimentarmos; por isso, "lá no fundo da nossa mente", estamos convencidos que é sempre necessária uma força para *causar* e manter o movimento e que esse movimento ocorre sempre na direcção e sentido dessa força (Gunstone e Watts, 1985). Como frisa Warren (1979), "repugna bastante ao senso comum" a possibilidade — legitimada pela 1.ª lei de Newton — da existência de movimento (rectilíneo e uniforme) mesmo na ausência de forças — ou, o que é equivalente, na presença de forças de resultante global nula.

• ***2.ª lei ou relação fundamental da dinâmica.***

> The change of motion is proportional to the motive force impressed; and is made in the direction of the right line in which that force is impressed.
>
> — *Newton.*

Segundo o sublinham Osborne e Freeman (1989), uma das principais dificuldades dos alunos com esta lei deriva da impossibilidade efectiva de se conseguirem experiências de sala de aula, suficientemente capazes de lhe

darem suporte experimental convincente, em virtude de condicionamentos associados ao controlo dos atritos. Face a esses constrangimentos, esse tipo de experiências são, na opinião dos mesmos autores — opinião que, sem reservas, corroboramos —, muitas vezes contraproducentes. O mais que essas experiências ou demonstrações frequentemente conseguem é levar os alunos a declarar, em tom um tanto ou quanto jocoso: "Se isso é física, então não funciona!..." (Osborne e Freeman, 1989, p. 14).

Além disso, no entender de Warren (1979), a dificuldade dos alunos com a 2.ª lei tem também muito a ver com os condicionalismos que sempre se levantam na compreensão qualitativa e quantitativa de relações que envolvem raciocínio proporcional. Apresentámos anteriormente argumentação suficiente para compreendermos o quanto de pertinente tem essa asserção de Warren.

• ***3.ª lei ou lei da acção e reacção.***

> To every action there is always opposed an equal reaction: or, the mutual actions of two bodies upon each other are equal, and directed to contrary parts.
>
> — *Newton.*

Um ponto crucial que, na esmagadora maioria dos casos, está ausente dos alunos é a ideia, subjacente ao enunciado anterior, de que a 3.ª lei se refere a interacções, em que cada interacção envolve *duas forças distintas que actuam em corpos diferentes,* tendo, por isso, pontos de aplicação também diferentes.

D. Brown (1989), sentindo que os investigadores se têm preocupado com a 3.ª lei muito menos do que a sua importância e a sua exigência conceptual o aconselhariam, realiza estudos empíricos a nível do ensino secundário,

em que conclui que os alunos concebem dominantemente a força como uma propriedade dos corpos, carecendo, assim, do significado de força como entidade interactiva.

Na mesma linha, Arons (1981) salienta que a capacidade do conceito newtoniano de força para explicar e prever o movimento não está tanto nas sensações primárias de puxar e empurrar, nem mesmo na conexão que a 2.ª lei estabelece entre força, massa e aceleração; ela reside, sobretudo, na possibilidade de *separar as partículas interactuantes com base na 3.ª lei, aplicando, depois, a segunda a cada partícula de sua vez.* É, desse modo, sua convicção que os alunos só começam realmente a compreender o conceito de força, a partir do momento em que atingem um nível compreensivo elevado da 3.ª lei e a conseguem aplicar correctamente:

> Students do not really begin to understand the concept of force until they become able to apply the third law correctly and draw proper, isolated force diagrams of interacting objects. (p. 167)

Em síntese: a essência do conceito de força, como entidade associada a uma interacção, está contemplada sobretudo na terceira lei, mais do que nas outras duas (Warren, 1979). Arons chama a atenção para as dificuldades compreensivas que a esse respeito os alunos indiciam quando, ao traçarem diagramas de forças para corpos interactuantes, o fazem de maneira a que tanto os módulos como as direcções e os sentidos dos vectores são traçados de um modo essencialmente aleatório: esse facto prenuncia uma incompreensão da 3.ª lei e, consequentemente, da verdadeira essência da força como interacção. Essa verdadeira essência está quase sempre arredada das concepções dos alunos, como o bem demonstra a investigação de Watts (1983), o qual, numa pequena amostra de alunos com idades com-

preendidas entre 11 e 18 anos, identificou oito categorias principais de concepções relacionadas com a ideia de força.

Há, contudo, que reconhecer que as dificuldades dos alunos em relação a esta lei dependem, muitas vezes, de factores externos, nomeadamente dos termos em que ela é formulada: "cada acção tem uma reacção igual e oposta", "a cada força corresponde uma outra de valor igual e oposta", "a acção e a reacção são iguais e opostas", por exemplo. Todas essas formulações conduzem a confusões, em particular por não sublinharem o facto de serem diferentes os pontos de aplicação do par de forças envolvidas em cada interacção, facto esse que muito intriga os alunos, sobretudo em casos de interacções de contacto. A própria utilização do binómio "acção"/"reacção" não será em termos didácticos a mais feliz: sugere uma sequência temporal, compaginando, assim, uma indevida relação de causa e efeito. No sentido de procurar obviar a essas confusões, Warren (1979) propõe uma formulação do tipo: "se o corpo **A** exerce uma força $\vec{F}_A$ no corpo B, então o corpo **B** exercerá no corpo A uma força $\vec{F}_A$ igual e oposta." Tal enunciado ajudaria a evitar a confusão habitual, ao enfatizar que as forças em jogo actuam em corpos distintos.

Nessas condições, parte da responsabilidade pelas insuficiências didácticas a que antes aludimos pode ser assacada aos manuais didácticos (e aos professores que neles de perto se inspiram). Primeiro, porque, tal como aponta D. Brown (1989), esses manuais (ou esses professores) abordam a 3.ª lei apenas de passagem, escamoteando, por um lado, as suas iniludíveis dificuldades intrínsecas e ignorando, por outro, a importância manifesta dessa mesma lei no desenvolvimento da dimensão qualitativa do conceito de força, não como propriedade associada aos corpos em si mas às suas interacções. Segundo, porque, na ilustração dessa lei, utilizam para o efeito

— talvez por economia de papel! —, um único diagrama compacto. Essa opção pode trazer problemas em situações de interacção à distância; eles são, todavia, agravados no caso de interacções por contacto, em virtude de se tornar mais difícil destacar visualmente que na interacção existem, de facto, duas forças distintas, com pontos de aplicação também distintos.

Apresentados que foram alguns justificativos para as dificuldades evidenciadas pelos alunos na aprendizagem das leis de Newton, é chegada a altura de, a título de complemento, construirmos um *inventário* sumário das suas próprias *concepções espontâneas* nesse âmbito. Dado que é de conhecimento essencialmente espontâneo que se trata, essas concepções dos alunos não se distinguem apreciavelmente do que são, em geral, as concepções de senso comum sobre os fenómenos mecânicos do dia-a-dia. Compreende-se, assim, que, no que se segue, expressões como "concepções espontâneas dos alunos" e "concepções de senso comum" (ou outras equivalentes) sejam por nós tomadas como permutáveis.

A atribuição do estatuto de *princípio* a algumas dessas suposições é, reconhecêmo-lo, um tanto ou quanto abusiva. Porém, inspirados como dissemos em Halloun e Hestenes, e na intenção já declarada de enfatizar a positividade do conhecimento espontâneo, usaremos (ainda que sob reservas) dessa liberdade epistemológica.

Força e Movimento: Inventário de Concepções Espontâneas Típicas

Princípio causal do movimento. Para a física newtoniana, os estados de repouso e de movimento uniforme e rectilíneo são ambos igualmente naturais: não necessitam de explicação causal. Apenas a alteração de qualquer

característica do movimento de um corpo (a sua aceleração) necessita de ser explicada em termos do conceito formal de força.

Essa não era, como vimos, a tese defendida na física aristotélica: aí, só o repouso surgia como um estado natural; tudo o resto, isto é, todo e qualquer tipo de movimento (incluindo o uniforme e rectilíneo) carecia de explicação causal, fosse por recurso a causas intrínsecas, fosse a causas extrínsecas. Nisso reside um dos pontos em que as ideias espontâneas dos alunos (e, de modo geral, as ideias de senso comum) se aproximam em conteúdo das ideias aristotélicas.

O repouso é, com efeito, considerado pelos alunos um estado natural dos corpos; ou seja, na ausência de forças, cada corpo permanece em repouso e vice-versa (Watts e Zylbersztajn, 1981). Nessas circunstâncias, é perfeitamente compreensível que o aluno pense, por exemplo, que para *manter* um "movimento constante" (rectilíneo e uniforme) seja preciso exercer continuadamente uma força também constante (Gunstone e Watts, 1985) — num hipotético referencial espontâneo ou de senso comum, essa convicção desempenharia um papel análogo ao desempenhado pela lei da inércia no sistema newtoniano.

Com base na sua experiência quotidiana, os indivíduos — fundamentalmente os que não tiveram aprendizagem formal em mecânica, mas não só — assumem, assim, que é sempre necessária uma força para manter um corpo em movimento, mesmo no caso de esse movimento ser uniforme e em linha recta (McDermott, 1984; Watts, 1983); como em Aristóteles, para eles, todo o movimento possui uma causa. Esta ideia, bem como outras com ela relacionadas, serve perfeitamente para explicar as experiências do dia-a-dia. E nem sequer se pode dizer, aliás, que, nesse dia-a-dia, se trate

de uma ideia errada, uma vez que, na presença de atrito ou de outras forças resistivas, é mesmo necessário aplicar constantemente uma força para que um corpo se possa manter constantemente em movimento. Reconhecendo o seu valor explicativo em situações quotidianas, Halloun e Hestenes (1985a, 1985b) atribuem a essa crença um estatuto de princípio, designando-a, precisamente, de *princípio causal do movimento de senso comum.*

Viennot (1979) elaborou um modelo representativo do modo como os alunos — referimo-nos aqui a alunos com escolarização em mecânica, ou seja, a alunos do ensino secundário ou superior — pensam acerca da relação entre força e movimento. De acordo com esse modelo, os alunos sustentam, muitas vezes em simultâneo, concepções newtonianas e não-newtonianas de força — em perfeita consonância, aliás, com o estipulado no corolário da fragmentação do construtivismo kelliano.

As circunstâncias concretas são determinativas de qual das concepções prevalece. Se o movimento não é facilmente acessível, quer por observação directa quer com base num diagrama, o aluno recorre, em geral, ao conceito newtoniano de força para resolver um dado problema. Se, porém, o movimento é bastante óbvio, cada situação particular vai determinar se o aluno recorre ou não ao conceito newtoniano. Se a força real é compatível com o movimento (isto é, se ela tem o mesmo sentido do movimento ou se tanto a força como a velocidade são nulas) aí o aluno usa o conceito newtoniano; se, todavia, os alunos pensam que existe um conflito (a força real ser oposta à velocidade, ou a velocidade ser momentaneamente nula) os alunos com frequência tentam explicar o movimento introduzindo uma "força alternativa". Essa nova força terá a direcção e sentido do movimento, é directamente proporcional à velocidade em vez de o ser relativa-

mente à aceleração e não tem localização definida no espaço e no tempo (McDermott, 1984).

Esta crença constitui, aliás, uma das concepções espontâneas mais estudadas. Trata-se de uma ideia manifestada em alunos de todo o mundo, em todos os escalões etários, não obstante a escolarização actual ou passada em mecânica. Foi, por exemplo, identificada por Watts e Zylbertsztajn (1981), em Inglaterra, em alunos da escola secundária; Viennott (1979), em França, em alunos do último ano do curso secundário e primeiro ano do curso universitário de física; Sequeira e Leite (1991), em Portugal, em alunos de 9.° e 10.° anos de escolaridade e 1.° ano da Universidade; Thomaz e Vasconcelos, também em Portugal (1989), em alunos também em alunos universitários.

Causas do movimento. Dada a popularidade das concepções que consubstanciam o princípio causal do movimento, são diversas as causas aduzidas para as sustentarem. Delas, deixamos a seguir uma amostra elucidativa.

1. **Causas iniciadoras**. Conforme o entendimento espontâneo dos alunos, o movimento pode ser iniciado por dois tipos de causas distintas:

   - por uma acção ou força aplicada ao corpo por um *agente externo* — corresponde ao "motor externo" de Aristóteles;

   - pela *gravidade,* encarada como uma tendência natural do corpo a cair e não necessariamente como força — corresponde, em Aristóteles, a um "motor interno" ou causa natural.

2. **Causas de manutenção.** É convicção natural de grande parte dos alunos que o movimento pode ser sustentado ou mantido:

- pela acção de *forças aplicadas* ou da *gravidade* (não forçosamente encarada como força);

- por *forças internas* ao corpo — quase sempre com um estatuto idêntico ao que era atribuído ao *impetus* na física medieval —, espécie de agentes activadores de que o corpo está dotado; aqueles corpos que *possuem* força são os que parecem mais capazes de criar actividade ou gerar "ocorrências" (Watts, 1983).

3. **Causas condicionadoras do movimento.** O movimento pode ser dificultado ou condicionado por agentes como:

   - por uma resistência intrínseca ao próprio corpo (peso ou massa);

   - pela acção resistente do meio circundante (atritos);

   - por obstáculos interpostos no caminho.

Propriedades das forças aplicadas. Como vimos anteriormente, na diversidade de concepções espontâneas dos alunos, podem aparecer, essencialmente, dois tipos de forças: *forças aplicadas* e *forças intrínsecas.* No que diz respeito às forças aplicadas, dir-se-ia que as mesmas obedecem às seguintes propriedades e "princípios":

1. ***Agentes de forças aplicadas.*** Uma *força aplicada* é sempre um acto de puxar ou de empurrar, exercido por um agente em *contacto* directo com o corpo em causa. Decorre, então, para alguns alunos, o corolário de que apenas os seres vivos podem actuar

como agentes de força[13]. As *forças à distância* são, assim, para esses alunos, *entidades misteriosas* (ou inconcebíveis) e, enquanto tal, dificilmente compreensíveis.

2. ***Princípio da transmissão material.*** Uma *força à distância* tem, no entender de muitos alunos, de ser transmitida por um meio material, tal como sucede com uma corda que liga um corpo a um agente que o puxa. Nessas condições, esses alunos não concebem que essas forças possam actuar no vácuo, em concordância, aliás, com os supostos da dinâmica de Aristóteles.

   Além disso, os alunos não tratam as forças como actuando segundo "uma linha de acção" ou "num ponto de aplicação". Para muitos deles, as forças são, antes, grandezas mais expandidas e mais globalizantes (Robertson e Richardson, 1975). Na opinião de Watts (1983), essa é uma concepção que se aproxima razoavelmente da ideia física de pressão; ou seja, de uma propriedade que se transmite a todas as partes de um corpo e que "actua à superfície" desse corpo. É como se as forças, na concepção espontânea, obedecessem a um *princípio de espalhamento.*

   De notar que o próprio Newton teve alguma relutância em aceitar a ideia de acção à distância sem meio material de suporte, tal como se pode inferir do seu seguinte extracto, formulado, evidentemente, antes da publicação da teoria da gravitação universal:

[13]Ver, a propósito, Gunstone e Watts (1985), Osborne e Freyberg (1985) e Watts (1983), para uma interessante descrição das perspectivas antropomórfica e antropocêntrica que os alunos sustentam sobre força.

> That gravity should be innate, inherent and essential to matter, so that one body may act upon another without the mediation of something elseby and through wich their action and force may be conveyed from one to another, is to me so great an absurdity that I believe no man who has in philosophical matters a competent faculty of thinking can ever fall into it. (Newton, citado por Watts, 1983, p. 117)

3. ***Princípio da interacção assimétrica.*** Maloney (1990) estudou e categorizou exaustivamente as concepções e regras intuitivas utilizadas pelos alunos para lidar com situações em que seria pertinente recorrer à 3.ª lei da dinâmica (colisões, por exemplo). Constatou que a maior parte dos alunos caracterizava a interacção recíproca entre dois corpos por alguma espécie de *princípio de dominância* : nuns casos, o corpo de massa mais elevada é o que exerce a força mais intensa; noutros, o "corpo que causa o movimento é o que exerce a força mais elevada porque consegue vencer a resistência daquele em que colide" (Watts e Zylbersztajn, 1981).

4. ***Efeitos das forças aplicadas.*** O efeito de uma força aplicada é geralmente caracterizado pelos seguintes princípios causais:

   - *Princípio da resistência inercial* —uma força é incapaz de fazer mover um objecto, a não ser que o seu valor seja superior ao valor do peso do objecto.

   - *Princípio da proporcionalidade entre força e velocidade* — uma força constante produz uma velocidade constante, podendo-se essa relação exprimir-se pela fórmula $F=mv$.

     Relacionada, de algum modo, com esta ideia, está a concepção recolhida por Watts (1983), e por ele designada de *força opera-*

tiva. A ideia de força é identificada com "acção" ou com "actividade": a "quantidade de força" é, para os alunos em questão, directamente proporcional à "quantidade de actividade" a ter lugar. Esta concepção apresenta afinidades manifestas com as noções formais de energia cinética ou de momento linear ("quantidade de actividade" = "quantidade de movimento").

Os alunos estabelecem, assim, ligações íntimas (tanto implícitas como explícitas) entre os conceitos de força e de energia (cinética, neste caso), indo mesmo ao ponto de afirmar que "a força *é* energia ou *uma* energia" (Clement, 1982; Viennot, 1979; Watts, 1983).

- *Princípio da limitação* — uma força constante tem um efeito limitado, dependente da sua intensidade. Essa limitação pode ser de dois tipos: a) a força "gasta-se" devido a ser consumida pelo movimento ou a ser dissipada por agentes resistivos; b) a força acelera o corpo até que ele alcance uma velocidade crítica proporcional ao valor da força, velocidade essa que o corpo irá depois manter quer a força continue ou não a ser aplicada.

5. ***Conjugação dos efeitos das forças aplicadas.*** O princípio newtoniano da sobreposição (adição vectorial de forças) tem dois correspondentes no sistema de senso comum, muitas vezes utilizados em simultâneo:

   - *Princípio da competição* — o movimento é determinado pela mais intensa das forças (em regra, duas) em competição;

- *Princípio do compromisso* — o movimento é determinado por um compromisso entre as forças em jogo.

Propriedades das forças intrínsecas. Uma *força intrínseca* ou *interna* é, para os alunos, uma suposta entidade que, só por si, é capaz de manter o movimento do corpo a que pertence, independentemente da actuação de agentes (ou motores) externos.

Vários autores (ex., Clement, 1982; Viennot, 1979; Watts, 1983; Watts e Zylbersztajn, 1981) têm salientado a prevalência deste tipo de concepção e o seu carácter apelativo (intuitivo) — à semelhança do que sabemos ter acontecido com a noção de *impetus.*

Clement afirmou-se surpreendido com a popularidade dessa crença e com a "incrível diversidade" das suas manifestações e variantes. Alguns dos apontamentos da história da ciência que temos apresentado, bem como os diversos comentários que, em conformidade, eles nos mereceram, tornam, a nosso ver, menos surpreendente do que o proclama Clement, toda essa popularidade e diversidade associadas a esse tipo de concepção: é ela, ao fim e ao cabo, um construto bastante natural e bastante previsível (Kelly, 1963, 1991; Vygotsky, 1986a, 1986b).

Algumas das propriedades associadas a essas *forças intrínsecas,* espontaneamente construídas pelos alunos, são as seguintes:

- As forças intrínsecas podem ser fornecidas ou comunicadas aos corpos por agentes externos e podem ser transferidas (à semelhança do que formalmente se passa com a energia) de uns corpos para outros.

- A força intrínseca disponível ou acumulada num corpo é directamente proporcional ao produto da sua massa pela velocidade (tal como acontecia no caso das forças aplicadas).

- Uma força intrínseca pode gastar-se, consumir-se, ou extinguir-se, muitas vezes, na mesma relação em que isso acontece ao efeito das forças aplicadas.

O caso especial da gravidade. Como já salientámos, a *gravidade* é encarada pelo senso comum como uma tendência dos objectos a cair e não forçosamente como uma força aplicada (força à distância). Contudo, os princípios causais que antes discutimos para as forças (aplicadas ou intrínsecas) aplicam-se, também, genericamente, à gravidade. Uma consequência importante dessa aplicação, nomeadamente da suposta proporcionalidade entre força e velocidade, é a crença natural, presente já na física aristotélica, de que, sejam quais forem as circunstâncias, *os corpos caem tanto mais depressa quanto mais pesados forem* .

Watts (1982) adverte, por outro lado, a não se tomar a gravidade (em sentido formal) como um dado adquirido pelos alunos. Realizando investigações com alunos dos primeiros anos do ensino secundário, o autor identificou as seguintes concepções alternativas à concepção formal:

- A gravidade é uma *força* que exige um *meio material* para se fazer sentir. Ou seja, a gravidade é reconhecida como força, eventualmente como força à distância, mas não como algo que se exerce mesmo no vácuo.

- Onde não existe atmosfera não existe gravidade. Esta suposição tanto pode constituir um corolário da anterior — na ausência de um meio material não pode haver gravidade —, como pode querer significar que os alunos que a sustentam imaginam que a atmosfera seja a fonte da gravidade. Para esses alunos, não existirá gravidade na Lua ou no espaço interplanetário, por exemplo (D. Brown e Clement, 1991).

- A gravidade aumenta com a altura a que o corpo que a sofre se encontra relativamente ao solo. Esta concepção parece conter o gérmen da noção que, em termos formais, é representada pela *energia potencial gravítica.*

- A gravidade é invariável qualquer que seja o corpo que a sofre. D. Brown e Clement (1991) mostraram, a esse respeito, que, no final de um ano de ensino tradicional de física, apenas um terço dos alunos assumia que a gravidade exercida sobre uma bola de chumbo é mais intensa do que a exercida sobre uma bola de algodão.

- A gravidade só começa a actuar quando, por qualquer razão, um corpo inicia um movimento de queda na atmosfera, deixando de actuar logo que o corpo já se encontra em repouso na superfície do solo.

- A gravidade é *selectiva:* não actua em todas as coisas da mesma forma, nem na mesma coisa do mesmo modo, em todos os instantes — por exemplo, a gravidade irá afectar a borracha de um balão, mas não o gás no seu interior.

4.2

DO QUANTITATIVO AO QUALITATIVO: CONTRIBUTOS PARA UMA NOVA DIDÁCTICA DA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE FÍSICA

Vícios e Limitações da Didáctica Tradicional: a Obsessão pelo Quantitativo

A "abordagem tradicional de resolução de problemas" é simples e linear. É apoiada em tarefas em que ao aluno são fornecidos todos os dados de que necessita e exclusivamente esses. O método adequado à sua resolução será, mais ou menos, aquele que foi utilizado na resolução de alguns dos "problemas-tipo" utilizados nas aulas ou incluídos nos manuais didácticos.

Esses manuais prevêem, em geral, uma secção onde se abordam e se discutem os factos, leis e princípios a reter (conhecimento declarativo). Enquanto isso, apresentam, já resolvidos, alguns dos mencionados problemas-tipo, para clarificar e cimentar esse conhecimento declarativo. Por fim, no final do capítulo ou do manual, disponibiliza-se uma lista de enunciados de problemas semelhantes, que o aluno deve tentar resolver por si, geralmente em trabalho de casa. Pouco ou nada se discute o conhecimento processual; os próprios problemas-tipo são apresentados com o estatuto de conhecimento declarativo (esquemas estáticos, simplesmente a memorizar).

Aquela abordagem está em sintonia com a caracterização que Dufresne (1987, 1989) faz do que tradicionalmente têm sido os *cursos de ciências.* Para o autor, esses cursos têm habitualmente sido conduzidos de uma "forma cíclica": apresenta-se o material novo, mostra-se, por exemplificação, como é que ele pode ser usado para resolver problemas, e levam-se os alunos a aplicar esse material em problemas semelhantes. Dessa abordagem, pode esboçar-se a seguinte panorâmica (Garrett, 1988):

- Regra geral, nas aulas de ciências só se utilizam *puzzles* e, mesmo assim, apenas nas poucas ocasiões em que se sai da pura transmissão de informação.

- Pior que isso, a maior parte desses enigmas corresponde à zona menos favorável à aprendizagem; são meros exercícios de aplicação rotineira. Não se tem desse modo em conta, ou inibe-se, a originalidade, a criatividade e o pensamento crítico dos alunos.

- Mesmo nos casos em que os professores tentam caminhar para zonas mais propícias à aprendizagem e ao desenvolvimento, Garrett considera que há que contar com a *influência subtil do currículo oculto.* Apesar de subtil, ela pode ter efeitos profundos na atitude dos alunos para com a ciência. Na verdade, os professores transmitem mensagens dissimuladas sobre a ideia de que os problemas têm sempre solução, que há só um caminho de resolver problemas (o chamado "Método Científico"); por inferência, os alunos criam a noção de que a ciência é sempre capaz de resolver os seus enigmas

e os seus problemas, induzindo, desse modo, visões distorcidas acerca da natureza da ciência e dos seus processos.

- Os professores e os livros, levados por uma perspectiva estreita do que seja precisão científica, tendem frequentemente a sobrevalorizar o papel do conhecimento formal e das formulações matemáticas. Como consequência, acabam por neglicenciar ou mesmo desencorajar a compreensão qualitativa e os modos de pensamento qualitativos, os quais constituem poderosas ajudas no planeamento de estratégias de resolução.

Como Kahney (1986) sugere, essa orientação didáctica assenta no pressuposto de que o aluno será capaz de, autonomamente, induzir *esquemas gerais de resolução de problemas* e de os aplicar a situações problemáticas parecidas, à medida que, exemplo a exemplo, vai realizando as tarefas propostas. Só que, o que na realidade tende a acontecer é que os alunos focalizam, como dissemos, a sua atenção nas fórmulas. Desenvolvem esquemas que lhes permitem memorizar e encontrar a fórmula adequada, esquemas esses que são esquecidos pouco tempo depois de essa matéria ter sido abordada (Dufresne, 1989).

Por outro lado, esses esquemas são, em regra (Chi et al.,1981), baseados em aspectos concretos e superficiais da situação e não em aspectos da estrutura profunda, ou seja, em princípios gerais. Não surpreende desse modo que, apesar de um aluno ser capaz de resolver problemas familiares e obter respostas correctas em testes objectivos, o mesmo aluno, se avaliado por outras técnicas, venha a revelar sérias confusões conceptuais. O aluno terá memorizado um algoritmo para obter "a resposta correcta e única", mas falta-lhe a compreensão dos conceitos e leis que explicam o fenómeno

(Gunstone e White, 1981). Como já acentuava Wertheimer (1968), logo que as situações enfrentadas deixam de ser rotineiras, o mesmo aluno fracassará, seguramente, na sua resolução.

Resolução rotineira, resolução acrítica. Observações informais e alguns estudos sistemáticos (Larkin e Reif, 1979; Larkin et al. 1980a, 1980b) permitiram comprovar que a grande maioria dos alunos tende, na verdade, a abordar os problemas de um modo que se distancia bastante do que poderá ser considerado uma resolução eficiente. Alguns dos comportamentos assim manifestados incluem (Reif, 1983b):

1. Confrontados com o problema, os alunos tentam imediatamente partir para a sua resolução quantitativa. Procuram recordar um problema análogo que tenham aprendido previamente e tentam reproduzir esse tipo de resolução. Gastam muito pouco tempo na tarefa preliminar de construir uma boa representação inicial do problema e de planear a estratégia global de resolução. Além disso, raramente se preocupam em avaliar a solução obtida e o processo que a ela conduziu, assim como em extrair da solução informações relevantes, úteis no futuro. Este comportamento condu-los à tentativa de aprenderem o assunto por aprendizagem rotineira. A memorização da fórmula e a sua recordação passam a constituir-se como fins em si mesmos (Jagger, 1985).

2. Os alunos tendem, assim, a pôr a tónica no relembrar e aplicar factos e fórmulas matemáticas, sem cuidarem de os incorporar num quadro mais rico de conhecimento qualitativo (Larkin e Reif, 1979). Ao resolverem problemas, prestam, desse modo, muito

mais atenção ao produto do que ao processo. É por isso que estão sobretudo preocupados com a obtenção de uma resposta imediata.

3. Finalmente, o conhecimento dos alunos sobre um dado domínio científico é quase sempre pobremente estruturado, consistindo em pouco mais do que colecções fragmentadas de parcelas de conhecimento declarativo.

Mas, como Schoenfeld (1989) acentua, se os alunos apenas são capazes de utilizar uma técnica de resolução de problemas acrítica e mecanicamente ("às cegas"), e em circunstâncias precisamente idênticas àquelas em que foi aprendida, então, em larga medida, a escolarização terá falhado[14]. Por outro lado, o mesmo autor, reportando-se ao caso da matemática, mas, por razões óbvias, perfeitamente aplicável à física, defende que meio século após Wertheimer ter escrito o livro *Productive Thinking,* a argumentação desse autor adquire hoje ainda mais força: na sua maior parte, a aprendizagem proporcionada aos alunos em matemática (e também em física) permanece idêntica ao tipo de aprendizagem que Wertheimer tanto deplorava, a saber, a aprendizagem rotineira e, com ela, o pensamento meramente reprodutivo.

Concretizando, Schoenfeld (1989) refere que a mecanização em que os alunos são induzidos na resolução de problemas de matemática vai até ao ponto de os mesmos darem "respostas" numéricas a "problemas" que nem

[14] Para Reif (1983a, 1983b), as estratégias didácticas que dão corpo a esse tipo de escolarização em ciências são, em muitos aspectos, didacticamente mais pobres do que as que são utilizadas em campos muito menos complexos e abstractos, como são os casos do desporto ou da música; nesses domínios, chegam a ser utilizadas estratégias de ensino mais sistemáticas e mais analíticas do que as utilizadas nas aulas de ciências, estas quase sempre baseadas numa mera exemplificação.

sequer colocam questão alguma. Cita um estudo de Radartz, em que o autor inseriu em séries de exercícios destinados a serem resolvidos por alunos em vários anos de escolaridade "problemas" do tipo:

> Mr. Lorenz e três colegas partiram de Bielefeld às 9 horas da manhã e conduziram 360 km até Frankfurt, com uma paragem para descansar de 30 min .

O autor verificou que a percentagem de alunos que dava uma "resposta" numérica àquela situação aumentava, consistentemente, desde a pré-primária até ao 6.º ano de escolaridade. Na sua interpretação, os alunos, à medida que a escolarização vai prosseguindo, vão sendo crescentemente habituados a resolver exercícios rotineiros e estereotipados, ao ponto de nem sequer se darem ao trabalho de verificar se os enunciados das questões propostas fazem ou não sentido.

Didáctica Tradicional: Algumas Positividades

A abordagem tradicional, apesar de redutora, condicionante e limitativa, e de apenas poder alcançar transferência de nível reduzido (Perkins e Salomon, 1988, 1989; Salomon e Perkins, 1989), é um método que, ao fim e ao cabo, funciona em muitas circunstâncias. É assim, na verdade, através da prática continuada de exercícios, cada um em pouco se distinguindo do anterior, que aprendemos a realizar tarefas tão diversas como somar, dividir ou mesmo conduzir.

Levados muitas vezes pelo incontido entusiasmo de argumentar a favor do novo, caímos na tentação de ignorar o que o velho tem de útil; assumimos uma atitude que pode ser tudo menos construtivista. Por nos querermos manter coerentes em relação à nossa opção construtivista, propomo-nos, no que se segue, mostrar que, quer a abordagem tradicional, quer os enigmas, exercícios, problemas-tipo ou algoritmos em que ela se apoia, acabam todos eles por ter a sua utilidade e a sua função educativa.

A resolução de problemas autênticos pode constituir uma boa estratégia para favorecer o desenvovimento intelectual do aluno. Contudo, a prática quotidiana da sala de aula e os resultados de alguns investigadores permitem concluir que essa estratégia não vai de encontro às preferências e hábitos de trabalho dominantes da maioria dos alunos. Cusak et. al. (1986) concluíram, com efeito, que estes preferem actividades que lhes proporcionem respostas rápidas e automáticas, em vez de situações que impliquem inovação, descoberta, conflito conceptual, em suma, esforço mental elevado.

Talvez por essas razões, e ainda porque "os alunos passam muito tempo a resolver problemas quantitativos com resultados desapontadores", alguns autores (ex., Kramers-Pals et al., 1983; Mettes et al., 1980, 1981a, 1981b) tentaram derivar esquemas de transformação de problemas quantitativos verdadeiros em "problemas-tipo" ou "problemas-padrão". Esta opção, ou "cedência tácita" (Poméz Ruiz, 1991) às pouco exigentes preferências dos alunos, poderá retirar à resolução de problemas muito do seu potencial como meio de desenvolver as competências de pensamento dos alunos, apesar de poder contribuir para um seu maior sucesso académico (que não, necessariamente, sucesso educativo!).

Garrett et al. (1990) preconizam, por isso, o contrário; isto é, apontam para a transformação de exercícios (de tipo lápis e papel) em problemas. Criticam o conceito tradicional de problema, apontando, nomeadamente, o seu afastamento relativamente a uma verdadeira abordagem científica (por exemplo, popperiana mas nunca empirista-indutivista).

Não obstante alguma pertinência das críticas à dominância dos problemas-tipo e tarefas afins no ensino-aprendizagem das ciências, os problemas-tipo, por serem geradores de procedimentos sistemáticos que se automatizam (e por outras razões a seguir fundamentadas), têm, no entanto, uma função importante a cumprir na resolução de problemas. Os esquemas de resolução a eles associados podem ter uma acção valiosa, reflectida, nomeadamente, na opção entre informação relevante e irrelevante, na forma de representação utilizada e na própria actuação rumo à solução.

Hayes (1987) considera que a formulação de juízos relativamente à relevância ou irrelevância da informação proposta é um aspecto essencial na resolução de problemas; um factor primordial na elaboração desses juízos é, precisamente, o conhecimento que se detém acerca de determinados problemas-tipo. O autor acrescenta, ainda, que quanto mais apetrechados estivermos relativamente ao conhecimento de esquemas padronizados de actuação, tanto mais elevada será a nossa capacidade de resolver problemas análogos. E é indiscutível que, tanto na escola como na vida, a resolução de problemas análogos é uma competência a desenvolver: dela depende, em última análise, a sobrevivência do indivíduo.

Aliás, o mesmo Garrett que, entre outros, critica a utilização, com carácter de exclusividade, de exercícios nas aulas de ciências, vem reconhecer a impossibilidade de nas mesmas se utilizarem só e apenas problemas verda-

deiros. Para além do efeito desmotivador que essa situação traria para o aluno, acresce ainda o facto de tal hipótese carecer de sentido, mesmo se considerada como ideal longínquo. Primeiro, por questões muito pragmáticas: o tempo que isso levaria. Segundo, porque para resolver problemas verdadeiros, para implementar estratégias novas, há que possuir as ferramentas necessárias; e isso só se consegue com o treino, e com o treino em processos padronizados. Terceiro, porque haveria grande probabilidade, para uma grande parte dos alunos, de muitos desses problemas irem cair em zonas para além das respectivas *zonas de desenvolvimento próximo,* implicando isso, como bem sabemos, a real impossibilidade de os alunos os resolverem (Vygotsky, 1978, 1979, 1986a, 1986b).

Exercícios e problemas: sua importância na resolução de problemas. Uma forma de distinguir exercício de problema tem a ver com o papel que os algoritmos desempenham num e noutro caso. A existência de um algoritmo previamente aprendido, adequado a uma dada questão, pode ser, na opinião de Bodner (1987), aquilo que transforma essa questão num exercício. Desse modo, a resolução de um exercício resume-se, em geral, a identificar, relembrar e aplicar correctamente um ou vários algoritmos antes memorizados.

Resolver um problema é, ao contrário, algo mais do que aplicar algoritmos numa ordem correcta. O uso de um algoritmo nunca é só por si suficiente para resolver um verdadeiro problema (Frank et al., 1987). Basta relembrar, por exemplo, o modelo de Polya e as suas quatro fases fundamentais: *compreensão do problema, concepção de um plano, execução do plano e avaliação da solução.* É manifesto que apenas uma das fases (a da execução) se ajusta à aplicação de algoritmos.

Quer dizer: um aluno que não tenha antes aprendido a executar os algoritmos apropriados a uma dada situação problemática quantitativa é certo que falhará a sua resolução; mas pode também acontecer que essa aprendizagem tenha sido previamente conseguida e que, ainda assim, a resolução falhe, não pela falta de rotinas executivas (de algoritmos), mas por falharem outras fases decisivas (por exemplo, a compreensão da natureza do problema).

Os investigadores classificam, muitas vezes, os problemas dos livros como exercícios porque, na sua perspectiva, podem ser resolvidos com base na utilização de algoritmos, não exigindo a criação de soluções novas. Esquecem, no entanto, que o que é decisivo na classificação de uma dada questão como problema ou como exercício não é tanto a questão objectiva em si mesma, mas a interacção entre ela e o estado de conhecimentos e de competências do sujeito que a analisa.

Por outras palavras, se o estado de conhecimentos e de competências do investigador o leva a considerar as questões dos livros como meros exercícios, isso não significa que os estados de conhecimentos e competências dos alunos (de cada aluno) os conduzam a idêntica classificação e postura. Um exercício que pode ser resolvido com um algoritmo pelo professor pode, no entanto, revelar-se um problema para o aluno, desde que a sua solução, apesar de óbvia para o primeiro, não o seja para o segundo.

Recapitulando: enquanto entre exercício e algoritmo existe uma relação íntima que implica que ambos sejam muitas vezes indiferenciados; entre algoritmo e problema (verdadeiro problema, entenda-se) essa intimidade já não acontece.

A importância dos algoritmos para a resolução de exercícios é um dado adquirido. Como Niaz (1988c) faz questão de acentuar, a sua importância para a resolução de problemas não pode, todavia, ser também negada. O autor fundamenta essa convicção em estudos por si realizados, os quais o terão levado a concluir que os algoritmos podem desempenhar um papel importante na redução das dificuldades de processamento de informação que se colocam aos alunos na resolução de problemas complexos.

Tentando operacionalizar essa conclusão, Niaz lança mão de dois construtos neopiagetianos fundamentais: a *capacidade de memória* (*M-capacity*) e a *exigência de memória* (*M-demand*). O primeiro tem a ver com o número máximo de unidades discretas de informação (*chuncks*) que o indivíduo consegue manter em simultâneo na memória de curto prazo (memória operativa). O segundo é função da dificuldade da tarefa e define-se como o número máximo de esquemas que o sujeito tem de mobilizar (activar) simultaneamente, no curso da execução de uma dada tarefa (Niaz, 1988c); vem a ser uma medida do *nível de dificuldade de um problema* para um dado indivíduo, ou seja, do grau de exigência que esse problema implica, traduzido ele no número de dimensões que esse indivíduo tem de trazer para o processo de resolução.

Percebe-se, facilmente, que, nessas circunstâncias, o sucesso (ou insucesso) na resolução de problemas tem muito a ver com as relações entre os dois construtos: entre o nível de exigência de uma tarefa para um dado indivíduo (variável com a tarefa) e a capacidade da memória operativa desse indivíduo (característica intrapessoal).

Niaz (1988a, 1988b, 1988c), baseado na técnica da "análise de tarefa" (bastante utilizada pelos investigadores neopiagetianos) analisou a "exigên-

cia de memória" de vários tipos de problemas de química geral e chegou às conclusões que se enunciam:

- Para problemas com o mesmo nível de dificuldade, o rendimento dos alunos aumentava na razão directa da respectiva capacidade de memória.

- Para alunos com a mesma capacidade de memória, o rendimento variava na razão inversa do nível de dificuldade do problema.

- A capacidade de memória dos alunos não se correlacionava significativamente com os problemas de nível de dificuldade relativamente baixo; mas já o mesmo não sucedia para o caso de itens de nível de dificuldade elevado[15].

- O nível de dificuldade de um problema reduzia-se substancialmente quando o aluno tinha a possibilidade de utilizar algoritmos previamente aprendidos.

A argumentação que acabámos de produzir, para além do objectivo concreto a que se propunha, serve também para reforçar o óbvio: a ideia de que a dimensão quantitativa tem, indiscutivelmente, a sua quota parte de importância na resolução de problemas académicos. Assumido isso, surge agora, no entanto, a necessidade de acentuar o menos óbvio: a convicção de que a dimensão qualitativa, por sua vez, pode ser (é quase sempre) igualmente crucial na resolução desses problemas. É o que tentaremos con-

[15] Esta conclusão e outras do mesmo tipo foram, aliás, utilizadas para explicar o já referido fenómeno da *décalage horizontal,* admitido por Piaget, mas não explicável pela sua teoria.

seguir na próxima secção, funcionando ela, de algum modo, como contraponto à obsessão das abordagens tradicionais pelo aspecto quantitativo.

Para a Superação de Alguns Vícios da Didáctica Tradicional: a Importância da "Física Qualitativa"

> Nenhum cientista pensa com fórmulas. O físico, antes de começar a fazer cálculos, deve ter no cérebro o curso dos raciocínios. Estes últimos, na maior parte dos casos, podem ser expostos em palavras simples. Os cálculos e as fórmulas vêm depois.
>
> — *Einstein.*

Matemática: Necessária mas não Suficiente para a Construção da Física

Uma das características peculiares da física é que ela não pode ser completamente formulada em palavras.

> Writing up physics in dictionary language is like trying to describe a picture to a blind man. (Ziman, 1981, p. 67)

Como sublinha Ziman (1981), "sem a maquinaria do número e da quantidade, das operações formais e da necessidade lógica, nunca a física teria conseguido penetrar o átomo ou as galáxias". O que fez avançar a física, e que constituiu a grande conquista metodológica e epistemológica iniciada com a revolução científica dos séculos XVI/XVII, não foi tanto o trabalho empírico de Galileu, mas a matematização iniciada pelo próprio Galileu e consolidada por Descartes e Newton, entre outros.

Essa revolução científica trouxe com ela, como refere Koyré (1986), uma transformação radical "de toda atitude do espírito humano, tomando a vida activa, *vita activa,* o lugar da *theoria, vita contemplativa* " (p. 11), que até então havia imperado.

Muitos historiadores sublinham a esse respeito o papel da observação e da experiência na ciência nova, então emergente. Koyré concorda que esse seja um dos traços mais característicos da ciência moderna. Considera, contudo, que não foi a "experiência" mas a "experimentação" a desempenhar um papel primordial. A experimentação permite interrogar e dialogar metodicamente com a natureza, interrogação e diálogo esses que pressupõem e implicam uma linguagem adequada. Para Galileu, era a linguagem matemática, ou mais precisamente geométrica — e não a do senso comum ou a de puros símbolos verbais (qualitativa, à maneira de Aristóteles) —, que tornava possível esse diálogo. Naquele que constitui o ponto principal de oposição entre Aristóteles e Platão, a saber, a natureza das matemáticas e o seu papel em ciência, Galileu tomaria partido por Platão:

> Sei perfeitamente bem que os pitagóricos tinham a mais alta estima pela ciência dos números e que o próprio Platão admitia a inteligência do homem e acreditava que este participa da divindade pela única razão de ser capaz de compreender a natureza dos números. Eu próprio me sinto inclinado a produzir o mesmo juízo. (Galileu, in Koyré, 1986, p. 51)

É esta simbiose da experimentação e da matematização que constituiria a grande inovação de Galileu relativamente à física aristotélica ou à física medieval (essencialmente qualitativas e baseadas na observação e na experiência):

> A despeito de Galileu ter, na sua juventude (como Descartes, por exemplo), partilhado as perspectivas e ensinado as teorias dos críticos medievais de Aristóteles, a ciência moderna, a ciência nascida dos seus esforços e das suas descobertas, *não*

> *segue* a inspiração dos "precursores parisienses de Galileu", coloca-se imediatamente num nível completamente diferente — um nível que gostaria de designar de arquimediano. O verdadeiro precursor da física moderna não é nem Buridan, nem Nicolau Oresme, nem mesmo João Filópono, mas sim Arquimedes. (Koyré, 1986, p. 21)

É assim que, contra Aristóteles e por Platão, contra o pensamento qualitativo e dogmático e pelo pensamento quantitativo, aberto e experimental, a "tendência mecanista da física clássica" seria posta em marcha por Galileu, Descartes e Hobes. Nessas condições, a física é, hoje em dia, como disciplina científica, uma ciência essencialmente quantitativa.

Hirst e Peters (1970) identificam *sete áreas disciplinares* distintas no todo diferenciado que constitui o conhecimento científico: *lógica formal, matemática, ciências físicas* (física, química e biologia), *psicologia, moral, estética, religião e filosofia.* Cada uma delas envolve conceitos de categorias diferentes e independentes. Mas, se bem que independentes, entre essas categorias de conceitos estabelecem-se importantes inter-relações — por exemplo, por independente e autónomo que o domínio das ciências físicas possa ser, a nossa compreensão do mundo está fortemente dependente dos nossos conhecimentos matemáticos.

Afirmar, no entanto, que os conhecimentos de um dado domínio são necessários para as explicações noutro domínio não significa, todavia, que sejam suficientes; dito de outra forma, o conhecimento matemático não é só por si suficiente para resolver problemas científicos. Como diz Toulmin (1953), a linguagem matemática pode ser — e é, na verdade — uma forma excelente e elegante de exprimir as relações entre os fenómenos físicos que estudamos. Sem essa linguagem, qualquer tentativa de explicar ciência ao público em geral (com escasso conhecimento de matemática) ver-se-á, for-

çosamente, confrontada com a necessidade e a dificuldade de criar modelos e esquemas metafóricos, capazes de compensarem minimamente a falta do suporte matemático.

Todavia, para compreender e relacionar os fenómenos físicos, é necessário algo mais: como reforça Ziman (citado por Jung, 1985), a maior competência do físico profissional reside na sua capacidade de "pensar fisicamente".

Há assim que combater a tendência de, confundindo a parte com o todo, mistificar o papel das matemáticas nas ciências físicas, tendência essa a que Toulmin (1953) alude na sua seguinte passagem:

> The place of mathematics in the physical sciences is something people tend to find mistifying. One is even told at times that physicists work in two worlds, the "world of facts" and the "world of mathematics", which makes one wonder how it can be that the world around us is, as they imply, interpenetrated by this other, unseen *mathematical world.* (p. 33)

Recapitulando: apesar do papel insubstituível que a matemática desempenha em física, apesar de o estatuto avançado da disciplina não lhe permitir ser formulada apenas em palavras, apesar disso tudo, e pese embora a estruturação, precisão e rigor que o formalismo matemático proporciona à física, as palavras (o qualitativo) serão sempre necessárias para compreender a física; é essa a mensagem que, em baixo, Ziman (1981) nos quer transmitir:

> However compelling, however rigorous, a formal mathematical argument is not self-suficient. Physics is about natural phenomena. The chalenge to the theorist is to establish the metaphorical parallel between the real world of perceived material objects and the ideal realm of mathematical models. To keep in touch with electrons and galaxies, magnetic fields and ocean waves, quarks and quasars, we need *words,* we must give them their own true names. (...) To *understand* physics, to

> feel its concrete necessities, we must accept the material implications of grammatical sentences containing nouns and verbs, the words for things and actions. Einstein's equation, $E=mc^2$, carries little weight until we have said it aloud to ourselves, "All mass is equivalent to energy; all energy has mass", and listen to the reverberations of these statements within our own understanding. (p. 69)

Matemática: Necessária mas não Suficiente para a Aprendizagem da Física Escolar

É um facto inquestionável que a matemática se afirma como absolutamente indispensável, quer para o desenvolvimento da física como disciplina científica, quer para a sua aprendizagem, agora como disciplina curricular — neste caso, e obviamente, com crescente acuidade em níveis progressivamente mais avançados. Dessa maneira, não surpreende que seja um hábito largamente vulgarizado os professores de física assumirem que a proficiência em matemática constitui uma condição necessária (e para muitos também suficiente) para o sucesso na aprendizagem da física.

Champagne et al. (1980), num estudo com alunos universitários, frequentando um curso introdutório de mecânica, identificaram correlações positivas significativas entre a competência matemática demonstrada pelos alunos no início de um curso de mecânica e as classificações por eles obtidas no final do curso. Justificavam essas correlações pelo facto de, no seu entender, a matemática ser o meio privilegiado de análise e comunicação em mecânica.

Hudson e Liberman (1982) ou Griffith (1985) registaram, também, correlações positivas entre a competência matemática e o rendimento dos alunos em cursos introdutórios de física, a nível universitário. No entanto, em am-

bos os estudos, sobretudo no de Griffith, se concluiu que, embora correlacionada significativamente com o rendimento, a competência em matemática não aparecia como o preditor mais forte desse rendimento. Essa posição cabia à variável pensamento formal (ou pensamento lógico), sendo a sua influência particularmente notória na parte mais qualitativa do curso.

Apesar da validade obviamente limitada destas últimas conclusões, nomeadamente por terem sido derivadas apenas em contexto universitário, uma inferência importante nos parece lícito retirar: ainda que necessária para o rendimento escolar em física, a matemática não é de modo nenhum um pré-requisito suficiente.

O facto de nos estudos antes mencionados o teste de pensamento formal correlacionar melhor com a parte conceptual, isto é, com as questões mais qualitativas, é consistente com essa ideia. A atenuação do simbolismo matemático não garante, só por si, a acessibilidade dos conceitos físicos; estes, por inerência formais, abstractos e muitas vezes contra-intuitivos, colocam sérios problemas de compreensão, mesmo se despojados da sua roupagem matemática.

Gamble (1986) procurou demonstrar isso mesmo: tentou provar que são essas peculiaridades, e não propriamente a matemática em si, as causas determinantes do insucesso dos alunos na resolução de problemas de física. Para conseguir validar essa sua hipótese, utilizou situações problemáticas simples, associadas aos conceitos de pressão e de velocidade. Os alunos eram convidados a resolver quatro questões para cada conceito, duas de natureza qualitativa (em que não se forneciam valores numéricos nem se induzia os alunos em estratégias quantitativas) e outras duas quantitativas (envolvendo a utilização das fórmulas $p = F/A$ e $v = e/t$).

Começando por analisar as respostas relacionadas com a *pressão,* Gamble verificou que foi nas questões quantitativas que os alunos evidenciaram maior insucesso: sentiram maior dificuldade na resolução de problemas simples de pressão que envolviam cálculo matemático, do que na resolução de questões qualitativas formalmente equivalentes. A hipótese de trabalho de Gamble não parecia, desse modo, encontrar suporte experimental.

Analisando, a seguir, as respostas às questões relacionadas com o conceito de velocidade (estruturalmente idênticas às de pressão) Gamble verificou que os resultados dos alunos superavam largamente os que os mesmos haviam obtido nas questões quantitativas de pressão. Perante o conceito de velocidade, conceptualmente menos exigente que o de pressão, os alunos foram mais bem sucedidos na resolução de problemas que envolvem manipulações matemáticas semelhantes. Como a formulação dos enunciados era idêntica, pareceu ao autor poder concluir com legitimidade que as maiores dificuldades relativas sentidas pelos alunos no caso da pressão teriam essencialmente a ver com a superior complexidade desse conceito.

Quer dizer: muitas vezes os alunos são incapazes de resolver problemas de física, não por lhes faltarem as bases matemáticas, mas por carecerem, antes, das bases conceptuais específicas. Dito de outro modo: nem sempre a matemática "pode ser a ré no crime de incapacidade resolutiva" dos alunos em física. Há também que ter em conta a própria especificidade da disciplina.

Por outro lado, não só as palavras são cruciais para aprender física, como o são também para aprender e desenvolver qualquer conhecimento quantitativo. Para di Sessa (1987), por exemplo, o conhecimento qualitativo consti-

tui um fundamento substantivo e necessário para a fundação de qualquer conhecimento quantitativo (fundação com significado, entenda-se)[16].

Suporte para essa tese encontramo-lo, por exemplo, em Piaget ou Vygotsky. O estudo da psicogénese dos conceitos cinemáticos (posição, espaço, velocidade e tempo) levou Piaget (1969, 1970) a concluir que as operações puramente qualitativas ou intensivas precedem em muito as operações matemáticas (e lógicas) extensivas. Tivemos, por outro lado, a oportunidade de apontar que, também para Vygotsky, o conhecimento espontâneo (qualitativo e intuitivo) pode constituir uma base para a construção do conhecimento científico (mais quantitativo, sistemático e abstracto).

Muitos dos estudos realizados, sobretudo no âmbito da Ciência Cognitiva, têm mostrado, e repetidamente reafirmado, que o sucesso dos alunos na resolução de problemas de ciências e matemática exige, na verdade, uma *dose substancial de pensamento qualitativo* (Chi et al., 1981; Larkin et al., 1980). Tal como o "bom cientista", os alunos "bons solucionadores" de problemas não se precipitam imediatamente na aplicação de uma fórmula ou de uma equação matemática. Ao contrário, passam por uma fase prévia de análise qualitativa em que tentam compreender a situação problemática; têm em conta representações qualitativas profundas e estratégias alternativas. Só depois de certificados de que conseguiram uma compreensão qualitativa é que partem para a quantificação. Só depois disso ter sido conseguido é que as fórmulas começam a fazer sentido e se pode ajuizar da sua relevância para a resolução do problema (Jung, 1985).

[16] A recomendação de Wagenscheim (citada em Jung, 1985) é bem elucidativa quanto a esse aspecto: "ensine primeiro o conhecimento qualitativo; evite [desenvolver] conhecimento quantitativo prematuro".

Por outro lado, a falibilidade das abordagens estritamente quantitativas tem sido claramente comprovada por muitas investigações (Driver et al. 1985; Osborne e Freyberg, 1985) realizadas nos últimos anos, nomeadamente por aqueles que procuram caracterizar a influência do conhecimento espontâneo dos alunos na aprendizagem do conhecimento formal.

Compreende-se, assim, que venha crescendo o número de autores que, a um nível introdutório, preconizam o recurso a abordagens qualitativas de física, especialmente no que toca à mecânica — ver, por exemplo, Epstein. (1986), com o seu livro *Thinking Physics* ou Fiolhais (1989) e o seu livro *Física Divertida.*

Nesse sentido, Karplus (1981) defende que o ensino da física deve ser conduzido de forma a se conseguir que os alunos encarem, por exemplo, a equação **F= m a** mais como um princípio básico da mecânica clássica do que como uma fórmula matemática constituída por símbolos a que, muitas vezes, não sabem atribuir um correcto e satisfatório significado conceptual. Na opinião de French (1988), uma das principais contribuições para o declínio de popularidade da física é a prática tradicional de começar os cursos de física pela mecânica clássica:

> This is a lovely subject (...) but being so clearly structured it lends itself to a thoroughly axiomatic-deductive approach, despite the subtlety of its basic concepts. (...) And when a physics course begins with mechanics, it establishes a pattern of authority and rigid determinism that is very hard to dispel later. (p. 112)

A natureza profundamente axiomática da matemática, associada às consequentes implicações em termos de dificuldade lógica, confere, quanto a nós, plena pertinência à observação anterior. Começa a verificar-se o reconhecimento dessas dificuldades que a mecânica impõe aos alunos, especialmente aos alunos do ensino secundário.

Mas uma das críticas mais cerradas ao predomínio do formalismo newtoniano e, por arrastamento, às abordagens quantitativas da física escolar, podemos encontrá-la em Osborne (1990). O autor começa por considerar que tem sido difícil conseguir mudanças significativas no ensino da física por a elas resistirem variados interesses por parte da comunidade dos físicos e dos professores de física. A essas forças resistentes, aos "princípios imutáveis" tão caros a essa comunidade, chama Osborne, em tom "deliberadamente provocatório", mas "construtivo", as "vacas sagradas da educação em física". São elas, principalmente, a "dominância da física newtoniana" e "a sobreutilização da física quantitativa".

Sem negar que o sistema newtoniano constitua "um dos avanços mais importantes alguma vez realizados na história global da ciência", Osborne é de opinião que, a nível escolar, esse sistema predomina, de facto, com eventual exclusão de tudo o mais. Por importantes que as ideias de Newton possam ser, elas não configuram a física total; a imagem que é transmitida aos alunos é, assim, uma imagem parcial e distorcida do mundo natural: a de um mundo linear, pré-determinado e absoluto.

A dominância da física newtoniana conduz necessariamente ao segundo vício que afecta o ensino da física: a primazia da física quantitativa e dos métodos de resolução analíticos:

> Quantitative methods are the undoubted success of modern physics and the scourge of physics education. (Osborne, 1990, p. 191)

Quase todo o ensino da física está baseado na premissa falaciosa de que o sucesso nos métodos quantitativos pressupõe um correlativo sucesso no campo da física qualitativa. A essa situação contrapõe Osborne abordagens que, sem excluírem, é claro, toda a física quantitativa, coloquem maior

ênfase no desenvolvimento de uma compreensão qualitativa, através de uma abordagem mais fenomenológica (Arons, 1982).

Osborne admite que possa haver quem argumente que o verdadeiro sucesso da física está em ser ela uma disciplina quantitativa, ser ela rigorosa e bem estruturada, e ter sido a matemática a responsável, no fim de contas, pelo emancipação e progresso da física A esses argumentos declara o autor não ter nada a opor, reconhecendo mesmo ser essa, em última análise, a grande finalidade de uma escolarização completa (de nível superior) em física. Duvida (dúvidas que também partilhamos) que essa tenha de ser (ou deva ser) também a grande finalidade do ensino da física a nível secundário.

As reservas que alguns autores têm manifestado em relação a esse ponto de vista talvez que, em parte, sejam devidas ao facto de não terem eles diferenciado claramente mundos bastante distintos e com lógicas de organização também distintas: o mundo da física como disciplina científica e o mundo da física como disciplina curricular (Neto e Almeida, 1990). Se para o primeiro é inquestionável a necessidade de uma matematização intensa, já para o segundo isso não se passa tanto assim: há que contar com o aluno, enquanto pessoa, com os seus interesses e motivações e, sobretudo, com as suas reais capacidades para aprender, não imutáveis mas progressivas, não homogéneas mas heterogéneas, não gerais mas individuais e idiossincráticas.

Finalmente uma última nota: não deve entender-se, de modo nenhum, que, ao fazermos a apologia da *física qualitativa,* queiramos significar que assim procedemos por pensarmos que o conhecimento qualitativo seja mais acessível aos alunos do que o quantitativo — por vezes, como já referimos, parece acontecer precisamente o contrário. Por outro lado, relativamente à

expressão "física qualitativa", cabe dizer que tal expressão nos merece, de facto, algumas reservas. Utilizámo-la, tendo fundamentalmente em conta a carga semântica que ela encerra: chamada de atenção para a dimensão qualitativa do conhecimento, tantas vezes abafada por tratamentos quantitativos rotineiros e estéreis. Cumpre-nos, assim, desfazer alguns equívocos e marcar algumas posições:

- Não se advoga a "física qualitativa" como um fim em si mesmo; advoga-se, tão-só, como designação para uma *estratégia didáctica,* um caminho (progressivo) para chegar à física, à física sem qualificativos.

- Parece inquestionável que, para ter acesso à "física quantitativa", ou seja, para operar com fórmulas de forma significativa, se necessita de uma sólida base de conhecimento qualitativo, sem a qual é possível que se saibam fórmulas sem, todavia, se saber física.

- Em muitas situações, a compreensão qualitativa é, aliás, só por si suficiente para fornecer uma explicação física adequada e, até, para resolver situações problemáticas; convém, a este respeito, desmontar o mito de que problema significa número, significa cálculo, mito esse, instilado mais pela escola do que pela vida, como facilmente se percebe.

4.3

DA AUTOMATIZAÇÃO À CONSCIENCIALIZAÇÃO METACOGNITIVA: CONTRIBUTOS FINAIS PARA UMA NOVA DIDÁCTICA DA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE FÍSICA

Do Conhecimento Tácito à Explicitação de Estratégias e Competências de Resolução de Problemas

Apresentámos já repetida evidência de que uma das características que diferenciam os especialistas dos iniciados é o facto de os primeiros possuírem uma sólida e bem organizada base de conhecimentos. É evidente que o especialista possui muito mais conhecimento declarativo; contudo, a diferença crucial a seu favor parece ter essencialmente a ver com o domínio do conhecimento processual, o qual lhe permite trazer para um dado problema o conhecimento declarativo adequado e lhe permite saber utilizá-lo na devida altura (Hestenes, 1987).

A identificação desse conhecimento processual constitui tarefa difícil para os investigadores, uma vez que grande parte dele é *conhecimento tácito,* isto é, é usado automaticamente, de um modo que nem os próprios chegam a ter consciência dele. Ou, nas palavras de Jung (1985), possuir conhecimento tácito é ser capaz de lidar com uma dada situação sem, no entanto, conseguir descrever e comunicar esse conhecimento em pormenor.

Os especialistas não resolvem os problemas exactamente como dizem fazê-lo. Toulmin (1953) refere-se a essa discrepância, enfatizando as consequências que dela derivam, no que toca à dificuldade que os cientistas (os especialistas) têm em explicar aos leigos (aos iniciados) as suas teorias e os seus procedimentos:

> A scientist who learns his physics the hard way, gradually becomes accustomed to using the novel technical terms and the everyday-sounding phrases in the way required; but he may only be half-aware of what is happening (...) *the building of the language of the sciences is not entirely a conscious process* [itálico nosso]. This has its consequences when the scientist comes to explain some new theory to the layman. For then he may unwittingly use in his exposition terms and turns of phrase which can be understood properly only by someone already familiar with the theor. (p. 13)

Todavia, não obstante o seu carácter automático e a sua consequente dificuldade de explicitação, o conhecimento tácito é essencial para um bom desempenho cognitivo, por vezes de forma bastante subtil. Uma implicação desta observação é que a caracterização desse conhecimento tácito é uma tarefa que, se bem que difícil, é importante e desafiadora; ela pode revelar muito da essência do que significa ser competente a resolver problemas. Uma outra implicação é que o ensino, em geral, e o das ciências, em particular, são frequentemente de eficácia limitada, pela simples razão de que uma parte significativa do conhecimento processual acaba por nunca ser explicitamente ensinado, em virtude de a sua existência não ser transparente, nem sequer para os próprios professores (Jung, 1985; Reif, 1983).

Muitas das dificuldades dos alunos perante a resolução de problemas têm, aliás, a sua origem no comportamento dos professores (Gil Pérez e Martinez Torregrosa, 1983b; Kramers-Pals e Pilot, 1982). Por forma a fundamentarem essa posição, Kramers-Pals e Pilot enunciam as diferenças

entre alunos e professores, no que diz respeito aos problemas resolvidos na aula[17].

- Em comparação com os alunos, os professores estão, como é óbvio, mais perto do comportamento do especialista. Tal como no caso do especialista, os passos do professor, ao resolver problemas, são dados de forma abreviada. Grande parte do seu conhecimento processual é tácito e automatizado; por esse facto, *o professor queima etapas,* omite transformações imprescindíveis para a compreensão dos alunos (J. Anderson, 1982; J. Anderson et al., 1981).

- Muitos desses passos que o professor executa ocorrem apenas mentalmente. As fases em que isto mais se faz sentir são, sobretudo, as que se relacionam com a construção da representação inicial, com o planeamento das estratégias e com a avaliação do processo. Mas essas são, afinal, as fases determinantes e condicionantes da resolução de problemas. A única etapa que, nessas circunstâncias, acaba por ser explicitada e registada é a que tem a ver com as operações rotineiras associadas à utilização de fórmulas, à implementação de algoritmos e aos cálculos matemáticos.

- Como especialista que é, o professor não tem, em princípio, dificuldades de maior com os conteúdos ou com os processos a utilizar. Quase todos os problemas passados aos alunos são questões rotineiras para os professores. Quando à partida isso não acontece, os professores rapidamente transformam o problema num problema-tipo que sabem resolver. Tendem, por isso, a subestimar as dificuldades

[17] Ver, também, outros trabalhos da mesma equipa, tais como Mettes et al. (1981a, 1981b), Krammers-Pals et al. (1983), Krammers-Pals e Pilot (1990) e Mettes (1985).

dos alunos, esquecendo que, mesmo nos casos em que estes compreendem bem o conteúdo, podem ter dificuldades na sua utilização, por carecerem de conhecimento processual apropriado.

- Tal como os especialistas, os professores tendem quase sempre a utilizar estratégias progressivas. Como sabemos, essas estratégias só são eficientes quando se tem, à partida, uma ideia, ainda que vaga, da resposta que se procura; ou seja, elas só funcionam com sucesso garantido no caso de o problema não ser um verdadeiro problema para a pessoa que o resolve, mas antes um exercício ou um problema-padrão. Para problemas reais, essa estratégia já é menos aconselhável e menos produtiva.

Esta questão da influência do conhecimento tácito no ensino da resolução de problemas (ou no ensino em geral) é, por isso, bastante pertinente; a ela se tem, no entanto, dedicado na literatura escassa atenção. Levados frequentemente por querelas (por vezes, estéreis) quanto ao que deve ser ensinado e se pode ou não ser ensinado, muitos investigadores têm, talvez inconscientemente, torneado esta dificuldade; outros, no entanto, tiveram a percepção da sua acuidade e decidiram encará-la de frente

É o caso de Reif e colaboradores (Reif, 1981; Reif e Heller, 1982) os quais advogam o *ensino explícito de conhecimentos e competências de resolução de problemas.* O seu modelo prescritivo para a resolução de problemas de física tem esse princípio didáctico como um dos seus pilares fundamentais.

Bunce et al. (1991) obtiveram evidência que suporta a convicção de Reif e Heller de que a chave para aumentar a competência dos alunos na resolução de problemas é, exactamente, o ensino explícito de estratégias e competências de resolução adequadas; essa explicitação potenciava a tentativa

de tornar acessível aos alunos algum do conhecimento tácito do especialista, no caso vertente, o professor (Dufresne, 1989).

Na mesma linha, são de destacar os trabalhos já referenciados de Mettes e do seu grupo, tendentes ao desenvolvimento de um *sistema de heurísticas para a resolução sistemática de problemas de ciências.* Essas heurísticas configuram um modelo prescritivo, baseado na comparação entre os protocolos de alunos e professores, ao resolverem problemas. Mas todos esses trabalhos têm como pano de fundo, em maior ou menor grau, os resultados dos modelos descritivos derivados dos estudos especialistas/iniciados (ou alunos bons/alunos fracos).

Numa *síntese* do que foram as principais conclusões desses estudos, lembramos que eles revelaram que os especialistas constroem melhores representações dos problemas (contendo mais princípios gerais e abstractos) e empregam estratégias de resolução mais apropriadas; além disso, executam os processos de resolução mais rapidamente, com mais comportamentos automatizados e operando com um maior grau de consciencialização e um melhor controlo do processo de resolução global. No entanto, as implicações educacionais não são necessariamente óbvias e imediatas. Como pensa McGaw (1984), uma coisa é saber de que maneira um especialista difere de um iniciado; outra, bem diferente, é saber como "transformar" um iniciado num especialista.

Em conformidade com evidência experimental por si recolhida, Larkin (1981a, 1981b) manifesta-se, porém, convicta de que a competência resolutiva dos iniciados pode ser reforçada desde que se lhes proporcione um ensino especificamente concebido para permitir a aprendizagem das

características dos especialistas. A concretização dessa proposta em termos de sala de aula traria, na sua opinião, importantes benefícios pedagógicos:

- Permitiria ensinar os alunos a integrar conhecimentos isolados em estruturas coerentes — ao contrário da prática tradicional em que a abordagem da matéria é feita de forma sequenciada.

- Incentivaria os alunos a abordarem os problemas segundo o *método dos refinamentos sucessivos,* ou seja, partindo de análises mais globais (qualitativas e descritivas) para aspectos mais específicos e mais quantitativos. As práticas correntes, ao contrário, colocam uma tão elevada ênfase nas formulações quantitativas que o que muitas vezes conseguem é inibir o desenvolvimento de competências de resolução de problemas importantes, como sejam, a realização de análises e representações qualitativas sólidas e consistentes, o planeamento de estratégias ou o controlo metacognitivo.

A propósito da relevância das análises globais qualitativas, Larkin (1980) refere que, por vezes, tem-se a ideia de que o recurso a essas análises (aparentemente vagas) é inapropriado ou mesmo ilegítimo em contextos científicos, nomeadamente em ciências exactas como a física. Crê, porém — e os seus inúmeros estudos aí estão para o comprovar —, que "nada pode estar mais longe da verdade": tais descrições são comummente usadas pelos especialistas e constituem ferramentas poderosas para tomar as primeiras decisões, necessárias e decisivas para um planeamento eficaz do processo de resolução.

Estas abordagens explícitas de competências de resolução de problemas podem ser contrastadas com a prática dominante na sala de aula, ou seja, com a estratégia tradicional que se limita a proporcionar exercícios aos

alunos, na "convicção" de que isso lhes permite transferir essas competências para contextos diversificados. Vimos já que o mais que essas abordagens podem conseguir é uma transferência de nível reduzido; a explicitação pode ser, por isso, uma via potencial para alcançar níveis de transferência mais elevados — isto é, "alta transferência", Salomon e Perkins (1989).

Concluindo, podemos dizer que uma das propostas mais consistentes destinadas a minimizar os efeitos negativos nos alunos da existência de conhecimento processual tácito nos professores, aponta no sentido da explicitação desse conhecimento. Essa proposta de explicitação, ou seja, de tornar consciente e deliberado o que é automático e involuntário, enquadra-se perfeitamente nas preocupações com o desenvolvimento das capacidades metacognitivas dos professores e, por isso, dos alunos.

Abordagens Sistemáticas de Resolução de Problemas

Uma outra preocupação que tem ganho ultimamente alguma força, mas que tem, afinal, uma longa história, a qual remonta, pelo menos, a Dewey (e mais longinquamente a Descartes) é a que se propõe chamar a atenção para a necessidade de serem utilizadas na sala de aula abordagens de resolução de problemas mais sistemáticas do que vem sendo regra.

Posições Favoráveis

Como Reif (1983a, 1983b) acentua, a resolução de problemas merece uma abordagem sistemática. Não só porque se trata de uma actividade cognitiva crucial em educação, mas também porque ela está associada, particularmente em disciplinas científicas bem estruturadas como é a física, a processos cognitivos altamente complexos.

Esta preocupação com a sistematização está reflectida numa das grandes orientações que têm marcado a literatura na resolução de problemas, com especial destaque em física. Essa orientação, designada por alguns autores de "algorítmica", está expressa, por exemplo, nos artigos de Mettes et al. (1980, 1981a, 1981b) ou Van Weeren, Mul e Peters (1982). Estes autores, baseados nas ideias de Galperin, Talyzina e Landa, tentam, como anteriormente salientámos, transformar explicitamente problemas verdadeiros em situações padronizadas, susceptíveis de serem resolvidas com base em "operações de rotina" ou algoritmos.

Hernandez e Hudson (1986) propuseram-se investigar em que medida um enfoque sistemático ajudava, de facto, os alunos, agora na resolução de problemas de química. Os grupos experimentais foram treinados no emprego de uma "Metodologia Geral de Resolução de Problemas", baseada nas propostas de Polya (1973) e de Mettes et al. (1980); os resultados obtidos pelos grupos experimentais evidenciaram mudanças significativas na sua capacidade de resolver problemas, o que parecia abonar precisamente em favor da sistematização.

Posições Críticas

Como seria de esperar, aquela orientação não consegue furtar-se a críticas. Questiona-se sobretudo a excessiva tónica na algoritmização e na utilização de problemas-tipo conducentes à mecanização. Gil Pérez et al. (s.d.), por exemplo, começam por reconhecer nessas orientações o mérito de se preocuparem em fundamentar teoricamente as suas opções e em evitarem perspectivas parciais que iriam limitar a validade das conclusões extraídas; criticam-lhe, porém, a "aceitação acrítica" de uma noção tradicional de problema e algum afastamento relativamente às recomendações das teses construtivistas actualmente em voga — teses que, à sua maneira, esses autores perfilham.

Na nossa opinião, críticas como essa poderão, eventualmente, relevar de alguma parcialidade e, mesmo, injustiça. É verdade que aquelas abordagens algorítmicas estão orientadas para a resolução de problemas-tipo e para a transformação de problemas autênticos em problemas-tipo; é também verdade que, pelo facto daqueles modelos recorrerem a procedimentos heurísticos algo rígidos, o pensamento criativo dos alunos pode ficar, de algum modo, decisivamente condicionado. Não é possível negar, todavia, a validade de algumas dessas propostas, qualquer que seja o enquadramento metodológico ou epistemológico em questão.

Os autores têm, nomeadamente, a preocupação de enfatizar a importância da explicitação de determinados aspectos da resolução de problemas, tantas vezes ignorados, como é o caso do conhecimento processual, sobretudo do que ocorre de forma tácita, e de algumas facetas do comportamento metacognitivo. Por outro lado, como, para nós, pensamento não organizado é

pensamento improdutivo, pensamos que alguma sistematização (alguma algoritmização) tem necessariamente de ser tida em conta.

Em Busca de um Modelo Integrador para a Resolução de Problemas de Física

O Modelo de Reif como Boa Aposta

Defendemos já a tese de que a algoritmização acaba por ser um pré-requisito necessário à resolução de problemas quantitativos; contrapusemos, de imediato, a ressalva de que, sendo necessário, não é, contudo, suficiente. É por isso que, a nosso ver, e sem querermos cair na injustiça de declinar a positividade de propostas como as do grupo de Mettes, consideramos essas propostas — como tudo afinal em resolução de problemas — incompletas. Haverá que procurar propostas mais integradoras. O modelo de Reif e seus colegas, modelo ao qual já recorrentemente nos referimos, pode, a esse respeito, constituir uma boa aposta.

Esse modelo é mais completo não só porque contempla a preocupação de Mettes pela sistematização e pela explicitação do conhecimento processual, como pretende ir mais longe, contemplando praticamente todas as sinergias que antes foram por nós consideradas imprescindíveis a uma boa resolução de problemas, com ênfase muito especial para as que têm a ver com o conhecimento científico qualitativo (sua organização, sua relação com o conhecimento espontâneo, sua consciencialização).

O modelo de Reif e colaboradores (Reif, 1981, 1983a, 1983b; Reif e Heller, 1982; Heller e Reif, 1984) para a resolução de problemas de física é um *modelo prescritivo.* A sua opção por um modelo prescritivo relativamente aos modelos descritivos derivados dos estudos especialistas/iniciados (Finegold e Mass, 1985; Larkin e Reif, 1979; Larkin et al., 1980a, 1980b; Simon e Simon, 1980), deriva das limitações práticas que os autores vêem nesses modelos, sem, no entanto, deixarem de reconhecer a importância das descobertas que essa via investigativa produziu, muitas das quais incorporaram ou nelas se inspiraram para construir o seu próprio modelo.

Em traços gerais, o modelo prescreve alguns *procedimentos gerais,* a utilizar em conjugação com uma sólida *base de conhecimentos específicos* (sinergia declarativo/processual). A base de conhecimentos deverá conter conhecimento declarativo de factos, conceitos e princípios, assim como conhecimento processual, relacionado com procedimentos específicos que tornam possível a utilização do conhecimento declarativo; deverá, além disso, possuir uma estrutura hierarquicamente organizada, no reconhecimento da influência que a organização do conhecimento poderá ter na resolução de problemas.

Os procedimentos gerais prevêem a subdivisão do processo de resolução em *três fases* principais:

1.ª Descrição (ou representação) inicial do problema e realização de uma análise qualitativa profunda, concebidas com a finalidade de facilitarem e iluminarem os passos subsequentes.

2.ª Resolução propriamente dita do problema, com base em heurísticas explícitas, facilitadoras das necessárias tomadas de decisão.

3.ª Avaliação e aperfeiçoamento da solução e do processo que a ela permitiu chegar (avaliação e controlo metacognitivos).

Em resultado de investigações tendentes à validação experimental do modelo, Heller e Reif (1984) obtiveram resultados que os levaram à conclusão inequívoca de que o conhecimento (essencialmente declarativo) adquirido pelos alunos em cursos introdutórios comuns de mecânica não é suficiente para lhes garantir competência na resolução de problemas típicos desses cursos, ainda que se trate de problemas-tipo. O rendimento dos alunos melhorava quando, nas condições preconizadas pelo modelo, se lhes proporcionavam *orientações externas explícitas*, as quais pretendiam colmatar a insuficiência do conhecimento processual por eles possuído; daí a importância das *heurísticas* referidas e das instruções explícitas complementares.

Tal como outros investigadores, Reif e Heller atribuem primordial importância à fase inicial, ou seja, ao estabelecimento de uma *boa representação inicial do problema,* com forte cariz qualitativo; consideram que as características dessa representação inicial irão influenciar decisivamente a possibilidade de o problema ser resolvido ou, no caso de o ser, a facilidade ou dificuldade com que isso acontece (Heller e Reif, 1984). Reconhecem ser aí que os resolventes inexperientes em geral mais falham; reconhecem, por outro lado, a dificuldade que existe em, nessa fase, tentar extrair do comportamento dos especialistas indicações relevantes e produtivas, em virtude de os especialistas tenderem a analisar e representar o problema de forma rápida, quase automática, com base em doses apreciáveis de conhecimento tácito.

Onde o carácter decisivo das representações qualitativas iniciais surge reafirmado. Em face da importância da representação inicial, e tendo em conta a dificuldade imposta pelo conhecimento tácito, os autores, no refinamento progressivo do seu modelo, dedicaram particular atenção a essa fase da representação e da análise qualitativa iniciais.

Nessas condições, Heller e Reif (1984) propõem a subdivisão da representação inicial em duas vertentes fundamentais: uma *descrição básica,* que corresponde simplesmente à tradução do enunciado numa forma mais interpretável (ou mais acessível) para o resolvente; uma *descrição teórica,* que é uma descrição do problema, deliberadamente expressa em termos dos conceitos e propriedades específicos e relevantes da base de conhecimento em consideração.

Se o resolvente possuir um sólido corpo de conhecimento declarativo sobre o campo de resolução em causa, possuirá, então, implicitamente, os ingredientes necessários à construção da descrição teórica de qualquer problema nesse campo. Todavia, esses ingredientes poderão não ser suficientes; a descrição teórica poderá ser facilitada se o resolvente dispuser de um procedimento explícito (heurísticas adequadas) especificando como descrever qualquer problema através da aplicação coerente do conhecimento declarativo específico. O modelo prescritivo para a resolução de problemas de física desses autores contempla, em conformidade com os princípios gerais já expostos, a explicitação de um procedimento para gerar uma descrição teórica com base na descrição básica ou sumária de qualquer problema.

Base de conhecimentos para a mecânica: o caso especial da 2.ª lei de Newton. Pelo que anteriormente ficou dito, e pelo facto de a mecânica ser

também o nosso campo de investigação, parece-nos pertinente tecer agora algumas considerações sobre o modo como caracterizar a base de conhecimentos susceptível de conduzir a uma boa descrição teórica de problemas nessa área, e que é necessário explicitar aos alunos.

Segundo Reif e Heller (1984), a *base de conhecimentos em mecânica* deve tornar explícito que as entidades particulares em estudo são *partículas* (corpos de dimensões suficientemente reduzidas para que possam ser considerados como pontos materiais) e *sistemas de partículas,* incluindo corpos rígidos. Deve, além disso, incluir referência explícita a *duas categorias especiais de conceitos* necessários à descrição das propriedades dessas partículas. Uma dessas categorias, relacionada com as partículas consideradas individualmente, contempla *conceitos que descrevem as características intrínsecas* dessas partículas (por exemplo, "massa") e *outros que se relacionam com a descrição do movimento das partículas* (por exemplo, "posição", "velocidade" e "aceleração"); a outra categoria de conceitos diz respeito à *interacção* entre partículas e inclui conceitos como, por exemplo, o de "força".

A base de conhecimentos para a mecânica deve ainda especificar algumas propriedades importantes daquelas categorias de conceitos. Deve incluir, por exemplo, referências às diversas *leis de interacção,* as quais deverão especificar como é que os conceitos associados a interacções se relacionam com os conceitos associados a movimento; devem, além disso, contemplar as diversas interacções existentes na natureza, sejam elas de contacto ou à distância.

Finalmente, essa mesma base de conhecimentos deverá também contemplar importantes *princípios do movimento* que especificam como é que o

movimento das partículas pode ser influenciado em resultado das interacções entre elas — por exemplo, a 2ª lei de Newton que relaciona a aceleração a que uma partícula está sujeita com a interacção global (força resultante) que a produz.

Pelo papel central que a 2.ª lei de Newton (relação fundamental da dinâmica) desempenha na mecânica, decidimos escolhê-la para concretizar um pouco as considerações precedentes. Vamos, pois, explicitar aquilo que deverá ser a base de conhecimentos associada a essa lei, capaz de contribuir para uma resolução competente de problemas em que ela intervenha.

A 2.ª lei de Newton, na sua formulação matemática, estabelece que a resultante das forças que actuam numa partícula é igual à massa da partícula multiplicada pela sua aceleração: $\vec{\mathbf{F}}_{\mathbf{r}} = \mathbf{m}\,\vec{\mathbf{a}}$. Tal como acontece com muitas outras leis da física, uma boa compreensão desta lei implica o relacionamento daquela equação (em si simples) com todo o conhecimento físico relevante a ela associado. Longe de estar subordinado à equação, esse conhecimento confere-lhe significado, tornando-a a representação matemática de uma lei física e não uma fórmula matemática pura e simples. Esse conhecimento deverá incluir descrições qualitativas e quantitativas, assim como especificações processuais da lei em causa e conhecimento das condições sob as quais essa lei pode ser aplicada (Larkin, 1981a, 1981b; Reif, 1985).

Vale a pena realçar a importância de se saber explicitar as condições em que uma lei pode ser aplicada, dado que, como a teoria de Anderson — baseada na existência de pares condição-acção, como suporte organizativo do conhecimento processual — prevê, um dado procedimento (uma dada ac-

ção) só produzirá o efeito desejado quando forem preenchidas as condições que potenciam a sua activação e implementação. Concretizando, as acções potenciais consignadas na 2.ª lei de Newton só serão admissíveis nos casos em que a situação problemática enfrentada se adequar aos constrangimentos impostos à validade e aplicabilidade dessa lei.

A *base de conhecimentos associado à 2.ª lei de Newton* deverá, então, para além da equação matemática que a traduz quantitativamente, contemplar os seguintes aspectos relevantes:

- conhecimento do significado físico dos conceitos de força, força resultante, massa e aceleração;
- conhecimento de que as forças provocam aceleração e não o contrário;
- conhecimento de processos de determinação da resultante de um sistema de forças;
- conhecimento das leis fundamentais do movimento;
- conhecimento da condição fundamental do equilíbrio de uma partícula ou da condição de equilíbrio de translação de um corpo rígido;
- distinção entre estado de equilíbrio estático e estado de equilíbrio dinâmico;
- relacionamento entre o significado físico da 1.ª lei de Newton (lei da inércia) e o da 2.ª lei;

- compreensão de que a utilização consciente da 2.ª lei pressupõe a compreensão efectiva da 3.ª lei, lei essa que configura o significado de força como interacção;
- conhecimento de que $\vec{F}_r = m\,\vec{a}$ é uma equação vectorial, implicando isso que a direcção e o sentido da aceleração sejam os mesmos que a direcção e sentido da força resultante;
- conhecimento das condições sob as quais a utilização da 2.ª lei pode ser aplicada.

Esta lista (incompleta mas, mesmo assim, significativa) baseia-se no que R. White (1985) designa de "associações internas": conexões estabelecidas entre as componentes intrínsecas essenciais de uma lei ou princípio. Wilson (1990) sugere que o estabelecimento desse tipo de associações entre os conceitos científicos que dão forma a uma lei deve ser uma estratégia a promover no ensino da física, tal como o é a estratégia, em geral mais reclamada, de relacionar esses conceitos com as situações externas quotidianas.

Na verdade, o autor identificou, experimentalmente, correlação significativa entre as "estruturas cognitivas" (em sentido ausubeliano), ou seja, entre as associações internas evidenciadas pelos alunos relativamente à compreensão da 2.ª lei de Newton e a resolução de "problemas de transferência"—problemas que são estruturalmente, mas não conceptualmente desconhecidos para o resolvente. Por outras palavras, os alunos cujas estruturas cognitivas (inferidas de protocolos verbais escritos) mais se aproximavam de um "mapa cognitivo" ideal, derivado pelo autor da literatura e considerado como a estrutura cognitiva ideal para aquela lei, obtinham resultados

significativamente melhores do que os alunos cujos protocolos indiciavam a posse de estruturas mais afastadas desse mapa ideal.

Uma Justificação Necessária

Uma vez apresentado o modelo prescritivo de Reif, julgamos pertinente esboçar agora uma breve síntese das razões que nos levaram a referenciá-lo com algum destaque.

1. Tínhamos procedido à caracterização do que é a realidade das aulas de física, particularmente no que se refere à resolução de problemas. Dissemos, a esse respeito, que uma radiografia completa da situação haveria de fazer ressaltar aspectos como: opção por "metodologias da superficialidade"; abordagens rotineiras e assistemáticas, com omissão do papel decisivo da organização do conhecimento; apelo ao "operativismo cego"; primado da fórmula e do quantitativo; ênfase excessiva em exercícios e problemas-tipo; ênfase no conhecimento declarativo e consequente falta de consideração e explicitação do conhecimento processual, particularmente do conhecimento tácito; omissão ou consideração indevida do conhecimento espontâneo dos alunos; total dominância da vertente lógico-formal do pensamento, com consequente falta de consideração do pensamento criativo; uniformidade e homogeneidade de procedimentos didácticos utilizados.

2. Com este diagnóstico exaustivo — algo pessimista mas, provavelmente, não empolado —, das insuficiências das abordagens tradicionais — afinal, as que temos ou as que condicionalismos

vários, muitos deles de ordem institucional, nos impelem a ter —, essas abordagens o mais que, em circunstâncias como essas, poderão vir a potenciar será, talvez, alguns resquícios de uma tímida "baixa transferência".

3. Fundamentámos, a seguir, a convicção de que a sociedade, sobretudo a actual, espera, por certo, mais da escola do que a verificação dessa tímida e baixa transferência. Urge, desse modo, encontrar mecanismos (institucionais, é certo, mas também pedagógicos e didácticos) para que outra possa ser a obra realizada pela escola, especialmente no que toca à educação em física. Outra obra significa aqui uma obra melhor, ou seja, pressupõe que esses novos mecanismos sejam capazes de levar progressivamente o aluno à realização não de resquícios de uma "baixa transferência" de aprendizagem mas de sinais substantivos de "alta transferência".

4. Mas a "alta transferência" implica mudanças, não mudanças na continuidade, mas mudanças inovadoras, capazes de levarem a cortes com o passado, com aquilo em que no passado funciona de inibidor do futuro; pelo que, assim o julgamos, a coerência que procuramos manter, fica, desse modo salvaguardada. E cortes parciais com o passado, neste contexto, mais não significam do que a entrada em ruptura com alguns dos aspectos das abordagens tradicionais, aqueles que, na perspectiva diversa em que nos colocamos (e só nessa), podem ser rotulados de perniciosos ou nocivos.

5. Tais rupturas pressupõem novas perspectivas, novos quadros pedagógicos e didácticos, suportados, obviamente, por novos qua-

dros epistemológicos, psicológicos e sociológicos. Aqueles em que estamos a pensar implicam sobrepor às negatividades (relativas, é claro) atribuídas às abordagens tradicionais as suas correspondentes positividades (elas também, e pela mesma razão, relativas e não absolutas).

6. É aqui que, no enquadramento antes deixado expresso, o modelo de Reif pode ter um importante papel a desempenhar na didáctica da resolução de problemas em física. Se não todas, ao menos uma parte substancial daquelas positividades, são previstas ou estão intrinsecamente consignadas nesse modelo. É esse, por exemplo, o caso:

- da opção por estratégias sistemáticas e profundas, em vez de estratégias aleatórias, fragmentadas e superficiais;
- do reforço da dimensão qualitativa do conhecimento, sem invalidar a importância da dimensão quantitativa, antes a valorizando;
- da importância conferida ao conhecimento processual, sem negar a importância equivalente do conhecimento declarativo;
- da necessidade de evitar o "operativismo cego", através da realização de análises qualitativas iniciais amplas e da subsequente construção de representações (internas e externas) consistentes e produtivas;
- do reconhecimento da influência que essas análises e representações qualitativas podem ter no planeamento das estratégias a utilizar e dos passos a implementar;

- da importância conferida à explicitação (com consciencialização) do conhecimento, especialmente do conhecimento processual tácito, com as implicações que daí advêm em termos do desenvolvimento de comportamentos metacognitivos;
- do reconhecimento quanto ao papel decisivo desempenhado pela organização do conhecimento na resolução de problemas, traduzido na proposta de os esquemas de organização do professor serem explicitados aos alunos e de estimular estes a explicitarem os seus próprios esquemas de organização.

O Modelo de Resolução de Problemas como Investigação: uma Proposta Complementar

Outros modelos existentes na literatura poderão servir de complemento ao de Reif, numa proposta, que se pretende tão completa quanto possível, de introdução de mudanças profundas nas práticas habituais de resolução de problemas de física e, correlativamente, na criação de condições propícias à consecução de "alta transferência".

Referimo-nos já aos modelos produzidos pela orientação algorítmica, por exemplo aos do grupo da Universidade de Twente; estes não constituem propriamente um complemento — são, mesmo, mais restritivos que o de Reif —, mas podem funcionar como um bom reforço, sobretudo na fase de resolução propriamente dita, isto é, na aplicação de heurísticas e algoritmos adequados.

Um outro modelo didáctico relevante neste contexto — esse, sim, complementar do de Reif, por razões que a seguir se compreenderão —, é o já

referenciado *Modelo de Resolução de Problemas como Investigação,* concebido, validado e implementado pelo grupo de investigação sediado na Universidade de Valência e dinamizado por Gil Pérez (Calatayud Aleixandre et al. 1986, 1988, 1990; Gil Pérez, 1987; Gil Pérez et al., s.d.; Gil Pérez e Martinez Torregrosa, 1983a, 1983b; Gil Pérez e Ramirez Castro, 1989). A ele se aplica, talvez ainda mais que ao de Reif, o objectivo de entrar em ruptura com o passado, na medida em que os autores declaram pretender romper deliberadamente com o que tem sido (e ainda é) a postura dominante na educação em ciências: a postura empirista-indutivista. Propõem, em alternativa, uma didáctica das ciências estruturada em função de um quadro epistemológico mais consentâneo com o estatuto contemporâneo de ciência — enquadrada, possivelmente, numa matriz sincrética, decorrente de possíveis convergências entre os pensamentos de autores como Popper, Kuhn ou Lakatos. O termo "investigação", presente no título do modelo, tem, assim, uma conotação não empirista, não indutivista, mas, em certo sentido, hipotético-dedutivista.

Outra vertente do modelo em que é particularmente notória a intenção de os autores tentarem superar os vícios (as negatividades) das abordagens tradicionais é a que se prende com a sua opção por problemas verdadeiros; "não problemas especialmente complexos ou originais", mas questões comuns, deliberadamente transformadas em "verdadeiros problemas", ou seja, em situações que possibilitem a aplicação de uma "metodologia científica" (no sentido, por exemplo, popperiano). Esse processo de transformação de "problemas" correntes (exercícios ou problemas-tipo) em problemas autênticos constitui um passo preliminar do modelo, mas, mesmo assim, um passo fundamental. Vale, por isso, a pena exemplificar:

Exemplo de um "problema" corrente. Um corpo é lançado na vertical e para cima com a velocidade de 20 m/s, num lugar onde a aceleração da gravidade tem o valor de 10 m/s^2. Qual será a altura máxima por ele atingida?

O mesmo problema transformado (uma possível versão). Um corpo é lançado na vertical, para cima. Qual a altura máxima por ele atingida?

O que primeiro ressalta à vista no problema transformado é a *ausência de dados numéricos.* Os autores apresentam as seguintes justificações para essa omissão deliberada:

- Na sua opinião, os "dados" têm, de algum modo, associada a si uma marca indutivista acentuada; como é sua pretensão superar esse tipo de posturas, daí a opção por problemas inicialmente sem dados numéricos. E dizemos inicialmente, uma vez que há-de haver uma fase no modelo, a do confronto com a realidade, em que os dados numéricos têm uma função importante a cumprir.

- Por outro lado, os dados são também um dos factores que potenciam nos alunos atitudes e comportamentos conducentes à matematização pura e simples. Com efeito, é hábito os alunos concentrarem de imediato a sua atenção mais nos dados de um enunciado do que nas palavras que o compõem, mais na estrutura superficial do problema do que na sua estrutura profunda; daí à ausência de qualquer reflexão qualitativa, daí, afinal, ao "operativismo cego", vai um passo e muito curto.

Nessa perspectiva, a proposta em consideração encontra, quanto a nós, plena justificação. Justificação mais no plano teórico (ideal) do que no plano prático (real). Isto porque, apesar de os autores e outros adeptos do

modelo se referirem à exequibilidade desse tipo de problemas, a nós parece-nos — e já o defendemos inclusivamente noutro local (Valente, Neto e Valente, 1989) — que, pelo menos no que diz respeito à situação portuguesa — a que conhecemos —, os alunos do ensino secundário não possuem um estado de conhecimentos e competências compatível com as exigências formais desses problemas. Por outro lado, a nossa própria experiência como professor e formador (empírica e pouco sistemática, é certo), quer com alunos do ensino secundário e superior, quer com professores em iniciação (estagiários) ou em serviço, essa experiência, dizíamos, leva-nos a reforçar aquela convicção. Temos, na verdade, sempre que utilizamos o modelo como estratégia didáctica ou de formação, constatado as dificuldades (diferenciadas, como é óbvio) evidenciadas pela diversidade de intervenientes, face à dificuldade de reflexão e resolução desses mesmos problemas. Lembramo-nos, mesmo, do caso de um professor, já com vários anos de serviço, que, reconhecendo muito embora as potencialidades didácticas e formativas do modelo, nos confessou a sua real incapacidade em abordar esse tipo de problemas.

De qualquer modo, e fazendo nosso o reconhecimento desse professor, pensamos que as considerações precedentes não retiram validade à proposta de Gil Pérez e do seu grupo, validade enquanto modelo, enquanto ideal a seguir. É por isso que aqui o descrevemos, é por isso que aqui o tomamos como mais um suporte deste nosso percurso pela didáctica da resolução de problemas.

Voltando, no entanto, ao modelo propriamente dito, diremos que ele prevê as seguintes *etapas* — etapas essas que não devem ser encaradas como passos de um algoritmo rígido a seguir, espécie de "Método Científico" único e padronizado, até porque, como já frisámos noutro local, os autores

assumem uma posição marcadamente crítica relativamente às orientações algorítmicas radicais:

1. ***Análise qualitativa***. A insistência na análise qualitativa (antes do processamento quantitativo) pretende promover a compreensão dos alunos da situação física, evitando, desse modo, uma abordagem "cega" e mecânica do problema, abordagem essa frequentemente adoptada pelos alunos — a isso induzidos, quase sempre, pelo currículo (explícito ou implícito), pelos programas, pelos professores e pelos manuais didácticos — mas que "nada tem a ver com o *modus operandi* dos cientistas".

   Além disso, esta fase permite compreender o problema a um nível intuitivo e concreto, daí podendo emergir o conhecimento espontâneo dos alunos. Há que dizer que os autores, em consonância com a posição construtivista de que se reclamam, enfatizam a influência do conhecimento espontâneo na aprendizagem da ciência formal e na resolução de problemas.

2. ***Formulação de hipóteses***. Tal como a anterior (ou ainda mais, crêem os autores) esta fase é especialmente adequada à explicitação das concepções dos alunos, particularmente das concepções alternativas. Por outro lado, neste modelo, são as hipóteses de trabalho que devem ser consideradas os "dados" necessários à resolução do problema; dados esses que, ao contrário do que acontece com a abordagem indutivista clássica, não são dados de partida, mas algo que surge na sequência da análise qualitativa inicial.

3. ***Planeamento de estratégias***. Trata-se de uma tarefa fortemente condicionada pela qualidade da representação inicial e pelas

UNIVERSIDADE DE

características da hipótese ou hipóteses posteriormente formuladas. Ela evita o hábito frequente (e improdutivo) de o aluno "agir por agir", ou seja, de actuar sem um plano de acção direccionado para o objectivo a atingir e para a hipótese a formular.

4. ***Resolução Quantitativa***. É a fase da implementação das estratégias e da realização do processamento quantitativo propriamente dito. É sugerido pelos autores que, durante ela, os alunos sejam estimulados a verbalizarem em voz alta os seus pensamentos. Essa verbalização (correntemente, pouco utilizada) ajuda o aluno a levar por diante o seu plano, com consciência e controlo do que está a fazer, evitando operar "sem rumo e sem sentido". Por outro lado, ela facilita a ocorrência de revisões e reformulações críticas das estratégias e dos passos utilizados e o diagnóstico de erros e dificuldades.

5. ***Análise de Resultados***. É a fase da avaliação final dos procedimentos e dos produtos da actividade empreendida. Possibilita a testagem das hipóteses anteriormente formuladas, permite analisar em que medida a análise qualitativa inicial e as estratégias seguidas foram ou não adequadas. Neste sentido, a utilização de mais do que uma estratégia pode revelar-se de utilidade inestimável: o produto de uma delas pode ajudar a apreciar a validade do produto de qualquer outra.

   Esta fase pode, para além disso, incluir a discussão de **casos extremos** relacionados com a situação em jogo. Essa discussão é extremamente formativa, nomeadamente pelo que ela pode signi-

ficar de estímulo à imaginação e à criatividade dos alunos e pela oportunidade que ela cria de testar a real compreensão física dos conceitos em causa, compreensão essa muito mais posta à prova em situações de certo modo atípicas do que em condições normais, conhecidas ou facilmente imagináveis e intuíveis pelos alunos.

O modelo de resolução de problemas de física como investigação tem, assim, de comum com o modelo prescritivo de Reif algumas sugestões e princípios orientadores importantes:

- ambos insistem na imprescindibilidade das análises qualitativas iniciais e na necessidade de levar o aluno a abdicar do "operativismo cego";
- ambos sugerem o recurso a comportamentos metacognitivos (insistência na verbalização ou na explicitação dos processos de pensamento utilizados);
- em ambos é notória a opção por estratégias sistemáticas e metodologias distintas da "metodologia da superficialidade" habitualmente reinante.

Mas, para além dessa sobreposição de propostas, o modelo de Gil Pérez apresenta, como vimos, algumas particularidades que o tornam, de facto, complementar daquele: mais vincada a intenção de introduzir mudanças metodológicas; maior explicitação da influência do conhecimento espontâneo na construção pelos alunos dos conceitos científicos; inclusão da importante actividade da formulação de hipóteses.

A Concluir

Não poderíamos encerrar este capítulo dedicado à didáctica da resolução de problemas de física sem deixar aqui expressas algumas considerações. Numa literatura tão prolixa como a da resolução de problemas, terminar uma secção, que se pretende de síntese, com a descrição algo alargada — e, pensar-se-á, algo apologética — poderá parecer um acto descabido e, até, despropositado. Outro será o ponto de vista, se dissermos que essa nossa opção por esses dois modelos teve unicamente a seguinte finalidade: encontrar suportes coerentes, solidamente cimentados na literatura, e em certo sentido inovadores, que pudessem servir de apoio firme à edificação e explicitação do nosso próprio pensamento.

Foram, pois, às vezes por interpostos meios, as nossas ideias pessoais sobre o que julgamos dever ser uma nova didáctica para a resolução de problemas de física (e para a sua aprendizagem, afinal) aquilo que aqui acabámos de explanar. Nova didáctica essa que, fundada na mudança e para ela direccionada, é certo, rejeita a mudança na continuidade mas também a ruptura total, rejeita a dicotomia e releva a interacção, a dialéctica, a sinergia, valoriza o cognitivo mas também o afectivo, o conceptual e igualmente o processual, a cognição assim como a metacognição, acentua a diferença sem ignorar a semelhança, valoriza o lógico mas também o alógico, o crítico tal como o criativo, dá realce ao qualitativo em equivalência ao quantitativo.

II
COMPONENTE EMPÍRICA

ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO E INSTRUMENTAL

5

5.1

SUPOSTOS METODOLÓGICOS DE PARTIDA

> O mais prejudicial dos preconceitos é (aquele de que resulta) que qualquer forma da investigação científica possa ser proscrita.
>
> — *Goethe.*

Análise Retrospectiva: a "Guerra dos Paradigmas"

Metodologia ou Metodologias?

De acordo com L. Anderson e Burns (1989), a "metodologia está relacionada com a forma de obtenção e recolha de dados e com o modo como deles se derivam significados" (p. 45). Nesse sentido, a metodologia terá tanto a ver com processos de pensamento e raciocínio como com os dados propriamente ditos.

Nessa perspectiva, e ao contrário do que frequentemente sucede, aqueles autores acham conveniente separar o conceito amplo de metodologia dos conceitos mais específicos de *método, técnica ou instrumento* de pesquisa. Partilham, assim, o ponto de vista de Willems e Raush (1969, citado em L. Anderson e Burns, 1989), de acordo com o qual a metodologia procura resposta para duas questões básicas:

1. Como é possível obter dados interpretáveis e de ambiguidade reduzida ao mínimo sustentável?

2. Dado um objectivo ou conjunto de objectivos, um problema ou conjunto de problemas, quais os tipos de estratégias, tácticas, procedimentos e ferramentas de pesquisa mais favoráveis à consecução ou à resolução dos mesmos?

A escolha da metodologia mais apropriada é uma das decisões mais importantes, mas ao mesmo tempo mais difíceis, que ao investigador cabe tomar. Essa decisão, sendo crítica para todas as ciências, é-o com especial agudeza para as ciências humanas e sociais e, no domínio destas, para as ciências da educação — muito devido à complexidade típica e endémica do fenómeno educativo (Riba, 1992).

Essa complexidade e a heterogeneidade inerente ao fenómeno educativo levam as ciências da educação a ter que importar e adaptar técnicas típicas de outras ciências, essencialmente de ciências sociais e humanas (sociologia e psicologia, nomeadamente)[42]. Como L. Anderson e Burns (1989) fazem notar, esse *ecletismo técnico e metodológico* não deixa de ter alguns efeitos perversos:

> While such ecletism gives education a broad range of tools with which to work, it also interferes with developing consensus about the proper approach to conducting educational research in general and classroom research in particular. (p. 47)

Face a esse leque de dificuldades, e à consequente falta de consenso a que se reporta a citação anterior, não surpreende que a investigação educacional tenha sido, desde sempre, um campo marcado por vivas disputas e profundas controvérsias. Elas têm subjacente uma diversidade de pontos

[42] A técnica de estudo de casos (bastante popular em educação nos últimos anos) foi, por exemplo, importada dos estudos de campo em sociologia e antropologia. As metodologias correlacional e experimental constituem, por seu lado, e em boa medida, uma dádiva da psicologia.

de vista quanto às metodologias e às técnicas mais adequadas à pesquisa no contexto educativo, particularmente em ambiente de sala de aula. Tal diversidade pressupõe, como não poderia deixar de ser, correlativa diversidade ontológica e epistemológica. Antagonismo ou complementaridade, compatibilidade ou incomensurabilidade são, assim, pólos extremados em torno dos quais esses debates se têm desenrolado.

Tudo isso foi, em grande medida, uma consequência esperada da queda de popularidade da corrente positivista. "Pode parecer paradoxal", diz B. S. Santos (1990), que a "questão do método" se tenha agudizado com o "fim do domínio positivista". Afinal, nenhuma outra corrente terá, como o positivismo, aprofundado mais o tema dos métodos e das técnicas de investigação. Mas, prossegue B. S. Santos, "a questão do método tornou-se, por isso mesmo, mais premente para qualquer dos dois campos epistemológicos que então emergiram. Para o campo metodológico que rompeu (ou pretendeu romper) radicalmente com o positivismo (fenomenologia, *verstehen,* etc.), a questão consistiu em encontrar alternativas teóricas e processuais que garantissem a consistência e a especificidade do conhecimento científico e evitassem que ele 'caísse' na rua do senso comum. (...) As alternativas foram, em geral, encontradas nos métodos qualitativos (ditos de caso) e nas técnicas que se lhes adequavam" (p. 82).

O Emergir da Tensão Quantitativo-Qualitativo

Assim se reacenderia a "tensão" entre *métodos quantitativos* e *métodos qualitativos,* praticamente eliminada a favor dos primeiros pelo positivismo. Ambas as posturas são convergentes em aceitar uma definição ge-

ral de investigação educacional do seguinte teor: *investigação* é o termo utilizado para descrever aquilo que se pode designar de "pesquisa sistemática", isto é, pesquisa caracterizada por alguma exigência de rigor e governada por conjuntos de princípios e regras característicos de cada paradigma em causa (Hitchcok e Hughes, 1989). L. Anderson e Burns (1989) referem-se-lhe também como "pesquisa disciplinada" e caracterizam-na do seguinte modo:

> A form of disciplined inquiry, classroom research is purposeful, systematic, and involves the collection, interpretation and analysis of evidence. (p. 83)

Mas o consenso quanto a essa definição geral rapidamente se desfaz, logo que se passa à sua fundamentação filosófica e à sua operacionalização metodológica e técnica.

É assim que, para os investigadores quantitativos, para além de sistemática, a investigação educacional deve ser também "científica", no sentido em que o são a física ou a matemática, por exemplo. Esses investigadores — frequentemente rotulados de "positivistas" pelos seus adversários — argumentam, consequentemente, que a pesquisa educacional deve utilizar os métodos e os procedimentos empíricos das ciências físico-naturais e algum do rigor e precisão das ciências matemáticas.

Os investigadores qualitativos, em contrapartida, têm argumentado ser a natureza do mundo social a tal ponto específica que a investigação nele desenvolvida deve ser forçosamente diferente da investigação no mundo físico-natural. Proclamam assim, como alternativa, a importância e a necessidade de se descobrirem as significações e as interpretações dos intervenientes no processo. Advogam, por isso, uma abordagem de natureza "interpretativa".

O acentuar das divergências levaria mesmo ao eclodir daquilo que Gage (1989) apelida de "Guerra dos Paradigmas". O ano de 1989 seria aquele em que o conflito atinge o seu auge — alguns autores falam mesmo de "cisma" no mundo da investigação educacional. Importa, contudo, tecer algumas considerações sobre os acontecimentos que, num passado próximo, precederam esse ano nevrálgico de 1989.

Situação nos anos oitenta. O tipo de investigação educacional que havia imperado nos anos sessenta e setenta vê-se, nos anos oitenta, alvo de forte contestação. Tinha ela vindo a ser qualificada inconclusiva (na melhor das hipóteses), estéril e inadequada à missão de elucidar os professores e outros agentes de ensino sobre a melhor forma de actuar na sala de aula. Os esforços no sentido de utilizar o "método científico" (de cariz positivista) no estudo e no aperfeiçoamento do processo de ensino-aprendizagem haviam "falhado rotundamente". Mesmo as metodologias de tipo correlacional, baseadas na relativamente recente proposta de observar directamente o cenário da sala de aula, não tinham, de acordo com os críticos, obtido grande sucesso.

Mas os críticos do modelo tradicional não se limitavam, porém, a constatar e reportar os fracassos desse modelo; ofereciam também explicações para os mesmos. Gage identifica três explicações fundamentais, a que faz corresponder as três críticas que a seguir se enunciam.

• ***A crítica antinaturalista.*** Está alicerçada numa posição que advoga ser simplesmente impossível investigar questões humanas, por recurso exclusivo a métodos científicos experimentais e quantitativos. A sua argumentação é fundada em três razões essenciais:

1. As questões especificamente humanas, incluindo elas o ensino e a aprendizagem escolares, encontram-se intimamente ligadas às intenções e aos objectivos que lhes conferem significado.

2. A abordagem quantitativa positivista tem por base a existência de relações causais determinísticas entre os fenómenos em estudo, relações essas que, se é polémico verificarem-se no mundo natural, é-o ainda mais no mundo social, mais concretamente nos fenómenos que regem as interacções na sala de aula.

3. Os métodos científicos podem apenas ser aplicados aos fenómenos naturais, estáveis e uniformes ao longo do tempo, do espaço e dos contextos situacionais, requisitos não obviamente aplicáveis no mundo social do ensino e da aprendizagem.

• ***A crítica interpretativista.*** Os interpretativistas punham a ênfase na necessidade de estudar os significados das acções educativas, do ponto de vista dos seus actores legítimos — ou seja, as interpretações dos comportamentos de alunos e professores —, ênfase que não conseguiam descortinar em toda a panóplia de estudos desenvolvidos nos anos sessenta e setenta.

Rejeitam, por outro lado, uma concepção positivista (mecânica, química ou biológica) de causa —, algo que, segundo eles, tinha vindo a caracterizar as investigações educativas tradicionais; rejeitam, também, a tese da uniformidade da natureza, isto é, a assunção de que os fenómenos naturais ocorrem do mesmo modo em todos os tempos e lugares; rejeitam, por fim, o recurso a modelos causais lineares, uma vez que tais modelos pressupõem significados fixos e imediatos de certos actos dos professores e dos alunos.

Adoptam, em vez disso, uma perspectiva essencialmente fenomenológica que vê as uniformidades comportamentais não como evidência de uniformidades essenciais subjacentes às diversas entidades, mas como uma "ilusão aparente", uma *construção social* :

> Thus interpretative researchers regard individuals as able to construct their own social reality, rather than having reality always be the determiner of the individual's perception. (Gage, 1989, p. 137)

Em consequência, o tipo de predição e controlo que marcam as investigações nas ciências naturais não são possíveis, na sua opinião, nas ciências humanas e sociais. Dado que a investigação educacional tinha sido conduzida na base daquele desiderato, compreendia-se que tivesse sido ela votada ao fracasso.

• ***A crítica dos "teóricos críticos".*** Segundo os partidários desta argumentação, a maior parte das pesquisas educacionais, em geral, e de sala de aula, em particular, têm sido pautadas por uma orientação meramente técnica e tecnocrática, visando a eficiência, a racionalidade e a objectividade. Essas pesquisas exibem uma tendência para medir "tudo aquilo que se move", e um negligenciar quase total das questões éticas e sociais.

Esses autores preconizam, em contrapartida, a investigação das relações da escola com a sociedade — as fundações políticas, económicas e sociais da construção do conhecimento, do currículo e do ensino. Têm por premissa a ideia de que os seres humanos são capazes de mudar as estruturas sociais, não tendo que ser simplesmente por elas dominados. Assim se compreende a crítica contundente por eles dirigida simultaneamente aos positivistas e aos interpretativistas: serem as suas investigações e conclusões mais ou menos triviais.

Análise Prospectiva: Antagonismo ou Complementaridade?

Efeitos das Críticas — Anos 90

Quais as consequências destas críticas na solidez das fundações do que até então vinha sendo o *status quo* no campo da investigação educacional? O que vale por perguntar: quais os efeitos, os reequilíbrios, as depurações surgidas na sequência da "Guerra dos Paradigmas"? Posicionando-se nesse ano de 1989, e em jeito de "viagem ao futuro", Gage tenta antever cenários possíveis para o mundo educacional, no que tem a ver com os processos de pesquisa nele encetados. Antecipa, então, como especialmente plausíveis, os três cenários que passamos a caracterizar.

• **1.º cenário: a hegemonia qualitativa.** Durante os anos noventa (e seguintes), as abordagens educacionais de natureza objectivo-quantitativa ("científica"), que tinham dominado a cena investigativa educacional até ao final da década de oitenta, verão a sua popularidade decrescer consideravelmente. Os investigadores passam a dedicar-se quase em exclusivo a estudos interpretativo-qualitativos e a análises críticas teóricas.

Tais mudanças não ficam confinadas ao círculo fechado do campo da investigação: originam fluxos transformadores na própria realidade concreta da sala de aula. O divórcio gritante entre a anterior abordagem positivista e essa realidade dá agora lugar a uma interacção rica e mutuamente frutuosa. Ao contribuir para essa melhoria na qualidade do ensino-aprendizagem, a investigação educacional cumpre agora os propósitos que a enformam e a justificam.

• **2.º cenário: o renascer do quantitativo.** Nesta outra visão prospectiva, os estudos interpretativo-qualitativos e as preocupações sociais e éticas continuam, como antes, a marcar posição. Mas, ao contrário da anterior, o declínio ou o abandono da dinâmica investigativa de natureza quantitativa não é agora previsto:

> This decline did not occur because the field of research on teaching and educational at large (...) recovered from their confusion and came to a great awakening. (Gage, 1989, p. 141)

Os investigadores acabam por perceber que entre as posições objectivo-quantitativas, subjectivo-qualitativas ou ético-sociais não têm necessariamente de existir conflitos ou antagonismos insuperáveis — as rupturas epistemológicas para que apontavam filósofos da ciência como Bachelard, Kuhn ou Feyerabend necessitam de ser, no mínimo, reinterpretadas.

Acaba, em síntese, por se compreender que nada na tradição objectivo-quantitativa impede que na análise dos processos e interacções de sala de aula se utilizem também métodos interpretativos (subjectivos) e qualitativos. Até porque, contrariamente aos supostos antinaturalistas, as transformações (no tempo e no espaço) da maior parte dos cenários de sala de aula não são assim tão rápidas, a ponto de invibializarem a aplicação de métodos quantitativos típicos das ciências físico-naturais.

Há é claro que ter sempre presente que se está a lidar com fenómenos, instrumentos de medida e marcos teóricos bastante diferenciados, relativamente aos que são característicos daquelas ciências. E isso implica que as reivindicações a formular nestes contextos, em termos de precisão e validade (interna e externa), não procurem emular, cega e acriticamente, os níveis atingíveis no domínio das citadas ciências físico-naturais. Mas isso não tem que ser, necessariamente, encarado como fraqueza mas como

um assumir do diverso. Da harmonia para que este cenário prospectivo aponta depende, como Gage (1989) realça, a própria sobrevivência das ciências da educação:

> What ended the interdisciplinary war and brought about the present productive harmony among the paradigms? To some degree, it was the dawning of the realization that if the social sciences did not get together they would perish. (Gage, 1989, p. 145)

- **3.º cenário: a mudança na continuidade.**

> The more things change, the more they remain the same
>
> —*Alphonse Karr.*

Nesta última antevisão, as diferenças e disputas existentes à data do estalar da "Guerra dos Paradigmas" irão persistir, muito simplesmente porque elas são o reflexo de diferenças profundas na individualidade dos temperamentos e valores humanos. Essas diferenças temperamentais e axiológicas predispõem os indivíduos para orientações cognitivas realizadas em função dos estilos cognitivos e motivacionais de cada um.

Essa diversidade de estilos tem, no próprio conjunto dos investigadores educacionais, dado origem a rótulos tão variados como "cientista" *versus* "humanista", "nomotético" *versus* "idiográfico", "estatístico" *versus* "clínico" ou, por fim mas não por último, "positivista" *versus* "hermenêutico". Embora as diferenças possam ser muitas vezes racionalmente resolvidas, elas não têm a ver (ponto em que Kuhn tem razão) com aspectos meramente racionais:

> They were embedded in the ethos of *comunities* of researchers, who hudled together in embattled camps and fought off the aggressions of their opponents. (Gage, 1989, p. 147)

Põe-se agora o problema de saber qual dos cenários nos parece mais verosímil e historicamente mais consistente. E também qual o mais adequado e mais profícuo ao mundo complexo e multifacetado da educação. Aí reputamos de sugestiva e avisada a proposta de Gage:

> The answer to the future lies with us, with you. (p. 148)

É assim que, seguindo esse lema, queremos para já afirmar que, por razões profundas, que têm muito de idiossincrático, privilegiamos a harmonia e a complementaridade em desfavor do antagonismo e da ruptura. Entre a hegemonia do qualitativo (no fundo também ortodoxa e dogmática) do primeiro cenário) e o pessimismo (ou fatalismo) do terceiro, a nossa aposta vai em plenitude para os supostos configurados no segundo cenário.

É nessa base — preocupação que, como então demos a entender, perpassa logo por todo o referencial teórico — que pensámos, desenvolvemos e redigimos este trabalho. A metodologia concreta que iremos apresentar, embora de dominância quantitativa, tem também forte pendor qualitativo. Para além do recurso a desenhos quase-experimentais, de métodos de análise estatística e de outros modelos típicos dos estudos quantitativos, recorremos igualmente a procedimentos mais enquadráveis nas abordagens qualitativas — análises de conteúdo exaustivas dos materiais escritos dos alunos e de entrevistas.

Mas antes de passarmos propriamente à descrição concreta dessa metodologia, queremos ainda deixar bem vincada a nossa convicção de que não são apenas razões idiossincráticas que justificam a nossa aposta na complementaridade qualitativo-quantitativo. Estamos em crer que elas encontram eco no que actualmente vem sendo o sentir de grande parte da co-

munidade científica e educativa. Buscam-se hoje sinergias onde antes se procuravam rupturas ou incomensurabilidades inexoráveis. É o que nos propomos elucidar e defender no ponto que se segue. E, para isso, começaremos por traçar a radiografia (ou melhor, uma possível radiografia) do que é hoje o campo da filosofia das ciências, neste princípio da última década do nosso século.

Onde se Opta pela Complementaridade: Razões Epistemológicas e Pedagógicas

Ciência Pós-Moderna: uma Transição a Favor da Complementaridade

Tornou-se quase um lugar comum afirmar que o ponto de partida da filosofia da ciência contemporânea (e, na realidade, de grande parte da filosofia, em geral) é a crítica e a rejeição do positivismo lógico e da epistemologia empirista que lhe subjaz. Popper (em parte), Kuhn, Lakatos, Feyerabend e Toulmin são alguns dos mais proeminentes representantes do movimento muitas vezes designado de "Nova Filosofia da Ciência" (M. Carrilho, 1994; Ribes, 1989).

Feyerabend (1993), com o seu *anarquismo epistemológico,* bem fundamentado no seu famoso livro *Contra o Método,* terá sido talvez aquele que foi mais longe na luta contra as teses positivistas e, simultaneamente,

contra a dogmatização da ciência[43]. A posição do autor está bem ilustrada na sua seguinte asserção:

> Dada qualquer regra, embora "fundamental" ou "racional", há sempre circunstâncias em que é aconselhável não só ignorar a regra, como contrariá-la. (p. 29)

Para além disso, logo numa das suas primeiras obras, o mesmo filósofo propõe-se refutar dois dos princípios "que estão na base da argumentação ortodoxa" (de raiz positivista): o *princípio da dedutibilidade* — a exploração faz-se por dedução, no sentido lógico restrito —, princípio que remete para a exigência de que todas as teorias satisfatórias num domínio dado devem ser mutuamente consistentes; e o *princípio da invariância do significado* — uma explicação "não tem necessariamente de implicar mudanças nos significados dos principais termos descritivos do *explicandum* (Feyerabend, 1989, p. 42).

Para além dos aspectos antes apontados, explorados de forma diversa pelos diferentes representantes da Filosofia da Ciência Contemporânea, são ainda pilares fundamentais dessa filosofia: a rejeição de que o progresso da ciência se faz por acumulação sem descontinuidades — tese consubstanciada, por exemplo, na mudança de paradigmas de Kuhn; e o mito positivista da objectividade dos dados observacionais e das teorias deles derivadas ou com eles validadas — esta recusa da objectividade absoluta seria um dos aspectos que mais contribuíram para a já referida perda de terreno do paradigma objectivo-quantitativo no reino das ciências sociais.

---

[43] *Contra o Método,* obra que põe em causa praticamente toda a filosofia das ciências desde Bacon, foi, nas palavras do próprio Feyerabend, "escrito na convicção de que o *anarquismo*, embora não sendo talvez a filosofia *política* mais sedutora, é por certo um excelente tratamento médico para a *epistemologia* e para a *filosofia das ciências* " (p. 23).

Mas nada melhor do que as palavras do próprio Kuhn (1970a), numa sua resposta a críticas de K. Popper, para ilustrar esse ponto:

> Sir Karl's view of science and my own are very nearly identical. (...) Both of us reject the view that science progresses by accretion; both emphasize instead the revolutionary process by which an older theory [ou mais propriamente paradigma, como o próprio Kuhn acrescenta em nota de rodapé] is rejected and replaced by an *incompatible* [itálico nosso] new one. (...) Sir Karl and I are united in opposition to a number of classical positivism's most characteristic theses. We both emphasize, for example, the intimate and inevitable entanglement of scientific observation with scientific theory. (pp. 1-2)

Se tivéssemos de encontrar uma divisa para aquele movimento, o termo *paradigma* seria certamente um bom candidato. Não porque todos os "novos" filósofos da ciência sejam concordantes com as teses kuhnianas, mas porque aquele termo, qual "virus" epidémico, rapidamente se disseminou por todo o campo da epistemologia e da filosofia da ciência:

> Like a virus, the word had spread beyond the history and philosophy of science and infected the intelectual community at large, where it came to mean virtually any dominant idea. (Donnelly, 1979, p. 15)

À proliferação de significados atribuíveis ao termo paradigma não foi imune a própria obra —*The Structure of Scientific Revolutions* — em que Kuhn o lançou e consagrou: um autor — facto reportado pelo próprio Kuhn — encontrou vinte e uma significações diferentes com que Kuhn nela o usa (Phillips, 1987).

No posfácio à 2.ª edição dessa obra, Kuhn (1970b) vem reconhecer ser a culpa em parte sua. Terá cometido a negligência de utilizar "paradigma" não só como sinónimo de "exemplar" (ou "problema-exemplo"), mas como significante para todo o conjunto de convicções, valores e técnicas partilhados por uma dada comunidade. Tentando corrigir essa falta, Kuhn

reserva no mesmo posfácio o termo "paradigma" para a primeira situação (exemplar), designando a segunda por *matriz disciplinar* (o cerne típico de uma dada disciplina).

Face à disseminação "viral" da palavra, a proposta de Kuhn não iria propriamente vingar: "paradigma" continua a ser utilizado não só com o significado de matriz disciplinar, mas como significante de "virtualmente qualquer ideia ou teoria dominante". É com esse sentido (ou com esses sentidos) que no contexto deste trabalho usamos o termo. Com M. Carrilho (1994), pressupomos assim que, "ao fazer a aprendizagem de um paradigma, o homem de ciência adquire simultaneamente uma teoria, métodos e critérios de juízo, e isto em geral numa inextrincável mistura." (p. 41).

É também com esse sentido que, retomando agora o fio da nossa argumentação, o conceito de paradigma nos irá servir para caracterizar a situação actual, no que ao desenvolvimento da ciência diz respeito. Na opinião de B. S. Santos (1990), a época que atravessamos é uma época marcada pela "transição entre o paradigma da ciência moderna e um novo paradigma, de cuja emergência se vão acumulando os sinais" (p. 9); e a que, na falta de designação eventualmente mais apropriada, o autor apelida de *ciência pós-moderna.* Essa concepção de ciência pós-moderna insere-se no movimento de desdogmatização da ciência dinamizado pelos novos filósofos da ciência, com particular destaque, como vimos, para Feyerabend (1975), pela forma acutilante como o faz:

> I want to defend society and its inhabitants from all ideologies, science included. (...) My criticism of modern science is that it inhibits freedom of thought. (p. 4)

Admitir a transição vista por B. S. Santos (1990) entre uma ciência moderna (dogmática) e uma ciência pós-moderna (desdogmatizada), implica admitir que os nossos tempos sejam tempos de mudança, de "anormalidade" (por oposição à normalidade kuhniana), de crise ou revolução científica. É ainda B. S. Santos a considerar pertinente e de acuidade manifesta distinguir entre dois tipos de crise, no que tem a ver com o progresso da ciência: as *crises de crescimento* e as *crises de degenerescência.*

As crises de crescimento afectam sobretudo a *matriz disciplinar* de um ramo da ciência — isto é, "revelam-se na insatisfação perante os métodos ou conceitos básicos até então usados sem qualquer contestação na disciplina, insatisfação que, aliás, decorre da existência, ainda que por vezes apenas pressentida, de alternativas viáveis". As crises de degenerescência são mais profundas. São crises transdisciplinares, atravessando, por isso, ainda que de forma desigual, todas as disciplinas científicas. Põem "em causa a própria forma de inteligibilidade do real que um dado paradigma proporciona e não apenas os instrumentos metodológicos e conceptuais que lhe dão acesso" (p. 18).

Em Busca de Sinergias: Verso e Reverso da Dicotomia Kuhniana

Uma questão imediata decorre daquela caracterização: corresponde a transição a que antes nos referimos a uma crise de crescimento de um dado ramo da ciência ou a uma degenerescência de todo o paradigma transdisciplinar até aqui mais ou menos vigente? Salvaguardando o facto de a resposta a essa questão não ser fácil e muito menos consensual — autores existem que rejeitam mesmo a ideia kuhniana de crise (Popper,

por exemplo, prefere falar em "revolução permanente") e outros ainda que não aceitam aquela distinção entre crises dos paradigmas —, B. S. Santos admite que, a haver uma resposta para aquela questão dicotómica, ela penderá necessariamente para a crise de degenerescência do grande paradigma que constitui as fundações da ciência moderna. E essa degenerescência, afectando pela sua própria definição todas as disciplinas científicas, perpassando por todas as suas bases (ontológicas, epistemológicas, metodológicas e técnicas) mais profundas, afecta, em especial, as ciências sociais:

> Se a ciência constitui hoje no seu conjunto um discurso anormal [no sentido de revolucionário], ele é particularmente anormal no domínio das ciências sociais, porque nestas o discurso científico dá sentido a uma realidade social, ela própria criadora de sentido e de discurso. (B. S. Santos, 1990, p. 31)

Ganha assim mais sentido a expressão "Guerra dos Paradigmas", pese embora a conotação, porventura demasiado forte, da mesma. Corresponde ela, afinal, aos reflexos no campo das ciências da educação (e das ciências sociais, em geral) da crise de degenerescência paradigmática de que fala B. S. Santos. Crise de um paradigma[44] (essencialmente positivista, objectivista e quantitativo) e ao emergir de um novo paradigma (interpretativo, subjectivo e qualitativo).

Essa crise paradigmática impossibilita (ou dificulta) no início qualquer comunicação ou cooperação entre ambas as posturas, levando muitos,

---

[44] Paradigma em sentido transdisciplinar porque, como pensam alguns autores (ex., Jacob, 1987), podem ser identificadas cinco escolas subdisciplinares diferentes: a psicologia ecológica, a antropologia holística, a etnografia da comunicação, a antropologia cognitiva e o interaccionismo simbólico. Quer dizer: a confusão no campo parte logo do próprio "qualitativo", ao tratar o conjunto das suas diferentes escolas como um todo indiferenciado.

compreensivelmente, a considerarem-nas antagónicas e incomensuráveis (no sentido radical que o termo possa ter): correspondentes, no fundo, a duas formas opostas de ver a realidade. Na verdade, como acentuam alguns autores, as diferenças que as separam são múltiplas e de vária ordem (Hitchcok e Hughes, 1989):

- de ordem **ontológica**: porque partem ambas de premissas opostas, no que toca à natureza (ao ser) do objecto em estudo, ou seja, do mundo social (e educativo);

- de ordem **epistemológica**: porque adoptam concepções diferenciadas acerca das bases do conhecimento, da forma como este se constrói e se constitui e do modo como pode ser comunicado;

- de ordem **metodológica**: porque são suportadas por métodos de pesquisa diferenciados, correspondentes a posturas distintas quanto à natureza (objectiva/subjectiva) dos dados observacionais e experimentais;

- de ordem **técnica**: porque partem de premissas diversas quanto ao tipo de instrumentos de pesquisa a utilizar e quanto à sua adequabilidade aos respectivos supostos ontológicos, epistemológicos e metodológicos (Fig. 3):

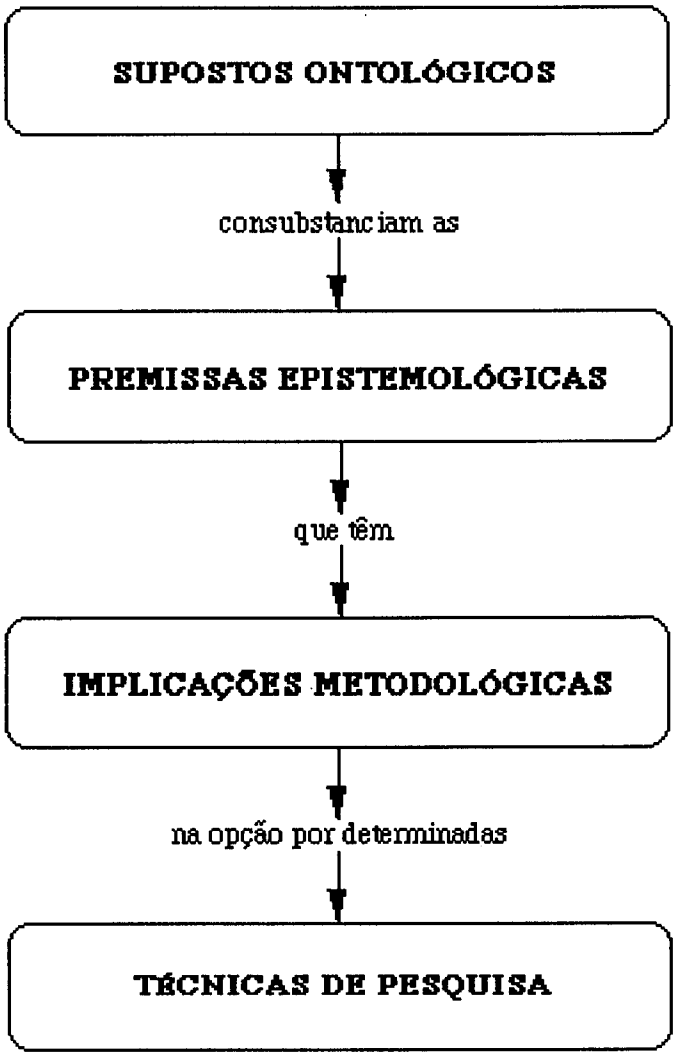


Fig. 3 — *Técnicas de Pesquisa: Condicionantes Paradigmáticas*

Toda aquela argumentação faz sobretudo realçar a dicotomia entre teorias ou entre formas metodológicas diversas de abordar a investigação. Difícil será não ver aqui um possível reflexo das teses de Kuhn, relativamente ao eixo dicotómico ciência normal-ciência revolucionária. Apesar de todos os méritos que a perspectiva kuhniana possa ter — nomeadamente no que ela representou e representa de contraponto ao imperialismo positivista —, o que é verdade é que os seus supostos — frequentemente descontextualizados ou distorcidos, é certo — conduzem muitas vezes a leituras

extremadas da problemática científica. Prigogine e Stengers (1987), por exemplo, começam por sublinhar o "carácter parcial e historicamente situado" da descrição kuhniana:

> *Historicamente situado* quer dizer que a actividade científica corresponde tanto melhor à descrição de Kuhn quando é exercida no contexto das universidades modernas, onde investigação e iniciação dos futuros investigadores estão sistematicamente associadas, isto é, no seio de uma estrutura académica cujo aparecimento pode ser seguido ao longo do século XIX, mas que antes era inexistente. (pp. 389--390)

Rejeitam, por outro lado, que os períodos de ciência normal sejam forçosamente períodos de conformação com o *status quo* vigente, isto é, períodos de reduzida criatividade científica:

> O cientista [nos períodos de ciência normal] não está votado a comportar-se como um sonâmbulo kuhniano, ele pode, sem renunciar, contudo, a ser um cientista, *tomar a iniciativa,* procurar integrar nas ciências perspectivas e questões novas. (p. 392)

Reconhecendo não lhes caber "pôr em causa o fundamento" da descrição de Kuhn da actividade científica, são os mesmos Prigogine e Stengers a criticarem a sua (talvez exagerada) ênfase na ideia de descontinuidade entre paradigmas:

> A questão que escolhemos para colocar à história das ciências conduziu-nos a explorar dimensões muito diferentes das que interessam a Kuhn. Foram sobretudo as continuidades que nos retiveram: não as continuidades "evidentes", mas aquelas mais escondidas, das questões a propósito das quais certos cientistas não pararam de se interrogar. (p. 391)

É também Elkana (1970) a lançar algumas dúvidas sobre a legitimidade epistemológica das descontinuidades kuhnianas — dúvidas dirigidas também para a dicotomia de Schwab entre "ciência estável" e "ciência fluida". No seu entender, ambas as dicotomias são "artificiais", não havendo se-

quer evidência histórica capaz de as suportar consistentemente. Ilustrando com alguns exemplos, Elkana afirma mesmo que, à semelhança do "sacralizado método científico" dos positivistas, a dicotomia proposta por Kuhn é uma dicotomia *a posteriori,* incapaz de traduzir a "ciência em construção".

A Tese da Incomensurabilidade: um Entrave à Cooperação Entre Paradigmas?

O ponto do pensamento de Kuhn (associado a uma ideia de descontinuidade) que mais polémica tem levantado é, pode dizer-se, a sua tese da *incomensurabilidade entre paradigmas* concorrentes ou rivais. Trata-se de um conceito proposto por Kuhn para explicar a por si reclamada dificuldade (quase impossibilidade) de os proponentes de paradigmas rivais comunicarem (ou mesmo cooperarem) entre si, compreendendo os pontos de vista mútuos. Kuhn (1970b) justifica o conceito do seguinte modo:

- **Primeiro**. Os adeptos de paradigmas competidores estão quase sempre em desacordo quanto à lista de problemas que devem ser resolvidos e quanto à sua prioridade.

- **Segundo**. Dado que os novos paradigmas nascem a partir dos antigos, os novos incorporam geralmente muito do vocabulário técnico, tanto conceptual como instrumental, que o paradigma precedente utilizava:

> The inevitably result is (...) a misunderstanding between the two competing schools. (Kuhn, 1970b, p. 149)

- **Terceiro**. Constitui o aspecto fundamental da incomensurabilidade:

> The proponents of competing paradigms practice their trades in different worlds. (Kuhn, 1970b, p. 150)

Trabalhando em "mundos diferentes", os dois grupos de cientistas "vêem coisas diferentes quando olham no mesmo sentido e a partir do mesmo ponto".

Devido a essa incomensurabilidade de pontos de vista, a escolha de um novo paradigma não pode acontecer segundo critérios lógicos, baseados em qualquer "algoritmo neutral" (axiologicamente falando) ou em qualquer "procedimento sistemático de tomada de decisão":

> Just because it is a transition between incomensurables, the transition between competing paradigms cannot be made a step at a time, forced by logic and neutral experience. (Kuhn, 1970b, p. 153)

Não podendo a mudança de paradigma ser explicada por critérios lógicos (ser submetida à prova lógico-racional), resta à comunidade científica decidir mudar perante "boas provas" ou por processos de "persuasão":

> To say that resistance is inevitable and legitimate, that paradigm change cannot be justified by proof, is not to say that no arguments are relevant or that scientists cannot be persuaded to change their minds. (Kuhn, 1970b, p. 152)

E isso é, pensa Kuhn, tanto mais provável de acontecer quanto maior for a precisão quantitativa garantida pelo novo paradigma relativamente ao seu predecessor:

> Newton's success in predicting quantitative astronomical observations was probably the single most important reason for his theory's triumph over its more reasonable but uniformly qualitative competitors. (Kuhn, 1970b, p. 154)

Essa tese, a ser levada à letra, justificaria, por um lado, a tenaz resistência do paradigma quantitativo em abdicar dos seus direitos adquiridos; e, por outro, tornaria bastante improvável a vitória do paradigma qualitativo, por rendição (ou abdicação) total do seu opositor.

Feyerabend, embora em moldes e com objectivos diferentes, foi também um adepto das teses da incomensurabilidade (no seu caso, entre teorias rivais ou alternativas). Juntamente com a defesa enérgica da subjectividade de todo o conhecimento, esse é um dos pontos que mais opõem o autor aos popperianos[45].

A noção de incomensurabilidade cumpre perfeitamente, como Ribes faz questão de acentuar, o seu papel em relação ao que critica: o objectivismo sem sujeito e sem história. Tem ainda o mérito de romper deliberadamente com dois dos princípios básicos do positivismo, rebatidos por Feyerabend, como antes tivemos ocasião de assinalar, na obra *Límites de la Ciencia.* Apesar disso, cai noutro defeito "igualmente insatisfatório", de um ponto de vista teórico:

> El relativismo absoluto, que como todo el absoluto (...) al pretender explicar todo acaba por no explicar nada (Ribes, 1989, p. 17)

Essa é, na verdade, a objecção mais frequente que a tese da incomensurabilidade suscita: conduzir ela, inevitavelmente, a uma concepção relativista da ciência e do conhecimento. Mas as críticas não se limitaram a pôr a tónica nesse ponto. Muitos investigadores têm, por exemplo, atacado a teoria linguística (devida a Duhem-Quine) que está na base de muitas das

---

[45] Recordemos que, para Popper, apenas o conhecimento associado ao "mundo 2" é de natureza subjectiva (porque psicológica), sendo objectivo o conhecimento que à ciência mais interessa, isto é, o conhecimento lógico-racional que dá corpo "ao mundo 3" (Popper, 1975).

teoria linguística (devida a Duhem-Quine) que está na base de muitas das teses a favor da incomensurabilidade, a saber, o "holismo semântico": se um termo científico faz parte de teorias diferentes, o seu significado em cada uma delas é também necessariamente diferente, dado que o significado é determinado pelo sistema global em que o termo se encontra. As palavras que se seguem, proferidas por Newton-Smith (citado em Philips, 1987), servem para ilustrar essa posição:

> The meaning of a theorethical term was said to be determined by the entire set of sentences within the theory containing the term. Consequently, any change in the postulates containing a given theoretical term was claimed to bring a change in the meaning of that term. Thus, if Einstein and Newton discourse about mass, force and all that, they fail to disagree. They are simply equivocating. On this account of the matter the assertion by the Newtonian "Mass is invariant" and the assertion by the Einsteinian "Mass is not invariant" are not logically incompatible, as the meaning of "mass" is not constant across the theories. (pp. 23-24)

Focalizada numa outra direcção, vai a crítica contundente de Toulmin (1972, citado em Phillips, 1981, p . 244):

> The central paradox in the classical theory of scientific revolutions [e na ideia de incomensurabilidade a ela associada] is the implication that, between supporters of different paradigms, mutual incomprehension is unavoidable. (p. 123)

Toulmin tenta resolver o paradoxo ao distinguir num paradigma dois elementos diferentes. São eles, por um lado, o conjunto de princípios "teóricos" que enformam os conceitos e relações-chave do paradigma; e, por outro, o conjunto de princípios "disciplinares" que definem os objectivos e a "filosofia" subjacente ao paradigma. Para Toulmin, numa revolução científica, nenhum destes elementos muda completamente; e mesmo num deles (no interior do conjunto de princípios "teóricos"), raramente ou nunca se verifica descontinuidade completa entre um velho e um novo

paradigma. Sendo assim, a transição paradigmática não terá necessariamente de implicar incompreensão entre pontos de vista:

> Paradigm-switches certainly need not lead to inescapble incomprehension. (Toulmin, 1972, p. 124, citado em Soltis, 1981, p. 244)

No já referido posfácio à 2.ª edição da *Estrutura,* Kuhn declina a acusação de que a sua tese da incomensurabilidade conduza necessariamente ao tipo de incompreensão de que fala Toulmin; isto é, à total impossibilidade de comunicação científica entre partidários de paradigmas rivais. Para o fazer, sente a necessidade de aduzir argumentações e clarificações suplementares a favor da sua perspectiva. Deixa bem clara a ideia de que, não obstante trabalharem em "mundos diferentes" e "verem coisas diferentes" (embora o vocabulário técnico utilizado possa ser essencialmente o mesmo), é sempre possível aos investigadores de uma dada comunidade comunicarem com investigadores de outra comunidade, como o fazem falantes de línguas diferentes; isto é, por tradução:

> Men who hold incomensurable viewpoints [can] be thought of as members of different language comunities and (...) their communication problems [can] be analysed as problems of translation. (Kuhn, 1970b, p. 175)

Alguns críticos (ex., Putnam, citado em M. Carrilho, 1994, p. 46) refutaram o critério da tradutibilidade, defendendo que logo que a tradução entre paradigmas for possível a incomensurabilidade desaparece. Em resposta a esse tipo de crítica, Kuhn (1970b), continuando a manter a persuasão e a capacidade de tradução como factores favoráveis (eventualmente necessários), vem afirmar que "o coração do processo revolucionário", ou seja, da adesão a um novo paradigma reside na conversão:

> The *conversion* [itálico nosso] that I have likened to a gestalt switch remains (...) at the heart of the revolutionary process. Good reasons for choice provide motives

Com este finca-pé na conversão, em vez de conter ou moderar as críticas à sua tese, Kuhn acaba mesmo por as reacender. Lakatos (1974), por exemplo, vem opinar que a mudança paradigmática, tal como Kuhn a vê, não passa de uma "conversão mística" que cai por completo na esfera da psicologia (social) da descoberta, mais parecendo uma concessão ao irracionalismo que o mesmo Kuhn tanto quer rejeitar.

A reformulação da tese da incomensurabilidade: uma porta aberta para a cooperação entre paradigmas. De qualquer modo, o que aqui importa realçar é que, mesmo para Kuhn ou Feyerabend, incomensurabilidade não é sinónimo de incomunicabilidade ou incompreensão. Concretizando, parece-nos pelo menos discutível que possa ser derivado da obra de Kuhn suporte argumentativo a favor da impossibilidade manifesta de as duas abordagens quantitativa e qualitativa poderem pelo menos comunicar entre si. Aliás, há que dizê-lo, ao falar de incomensurabilidade, Kuhn está a pensar essencialmente na sequência ciência normal-ciência revolucionária, ambas tendo já atravessado a fase pré-paradigmática. Ora, é o próprio Kuhn a duvidar que isso tenha já acontecido às ciências sociais, em geral, e muito menos às ciências da educação. Como B. S: Santos (1990) acentua, "Kuhn assume o carácter pré-paradigmático das Ciências Sociais e, logo, o seu relativo atraso em relação às ciências naturais" (p. 153).

A resposta de Feyerabend às críticas à sua concepção de incomensurabilidade segue um percurso que diverge do adoptado por Kuhn. Continua, como Kuhn, a sustentar a existência de incomensurabilidade entre teorias científicas concorrentes. Mas, abdicando da tenacidade daquele, acaba por reconhecer ser a incomensurabilidade um "acontecimento raro", que só

intervém quando as condições de "significabilidade" dos termos descritivos de uma teoria não permitem o uso de termos descritivos de outra teoria. Além disso, passa também a considerar que teorias incomensuráveis não são completamente estranhas entre si: existe uma subtil e interessante relação entre as suas condições de "significabilidade".

Aberta que está, assim, a porta para a comunicação entre paradigmas (ainda que por tradução de linguagens), resta-nos explorar a possibilidade de a mesma abrir caminho para a cooperação, isto é, para a complementaridade e diversidade metodológica. E, mesmo sem sair do contexto da incomensurabilidade, é possível encontrar razões que apontam para a positividade do diverso (metodológico) em detrimento da unicidade consagrada no "Método Científico" positivista. É o que nos irá mover no ponto subsequente, recorrendo mais uma vez a Feyerabend, concretamente ao seu *princípio da proliferação das teorias.*

A proliferação de paradigmas e de teorias numa ciência tem sido quase sempre considerada um sintoma de imaturidade e instabilidade. Não obstante, como acentua Ribes (1989), não há ciência que consiga ser totalmente imune a essa proliferação, na totalidade dos objectos de estudo que abarca — pense-se na astrofísica ou na física das partículas, por exemplo —, "ainda que as disciplinas sociais a sofram de forma endémica devido à impregnação ideológica das suas teorias e programas de investigação" (p. 78).

É ainda Ribes a afirmar que "é sempre possível dar a volta ao argumento", escapando, desse modo, ao "racionalismo positivista" que só vê deméritos nessa proliferação (nessa "anarquia"). E a volta ao argumento tenta o autor consegui-la, inspirando-se de perto em Feyerabend e no seu

já referenciado princípio de proliferação. Com esse princípio, Feyerabend vem preconizar que a actividade científica será tanto mais criativa e frutuosa quanto mais se conseguir "inventar e elaborar teorias que sejam *inconsistentes* com o ponto de vista aceite, ainda que se dê o caso de que este último esteja já solidamente confirmado" (Ribes, 1989, p. 22). Qualquer filosofia da ciência que o aceite será uma filosofia ou uma *metodologia pluralista* — por oposição, ao carácter *monista* das posições que o recusam. As teorias que se encontram em dissonância com o ponto de vista aceite são chamadas *teorias alternativas* .

Não deixaremos de ver aqui fortes semelhanças com o "alternativismo construtivo" de Kelly, embora a teorização deste autor esteja focalizada essencialmente para a vertente psicológica. A diversidade de alternativas na construção psicológica do conhecimento (e na comunicação com os outros) está bem presente nas suas seguintes palavras:

> Enough has already been said to make clear our position that there are various ways in which the world can be construed . (...) We take the stand that there are always some alternative constructions available to choose among in dealing with the world. (...) We call this philosophical position *constructive alternativism* . (Kelly, 1963, pp. 14-15)

A semelhança pode ser mesmo acrescida quando confrontamos o princípio da proliferação de Feyerabend (relacionado com a tolerância de inconsistências epistemológicas no desenvolvimento do conhecimento científico) com o teor do corolário da dicotomização de Kelly (referente à tolerância de inconsistências na construção psicológica do conhecimento):

> A person's construction system is composed of a finite number of dichotomous constructs. (Kelly, 1963, p. 59)

Quer dizer: para Feyerabend (como para Kelly), as inconsistências entre teorias (ou entre construtos pessoais), longe de serem encaradas como um aspecto negativo, são antes vistas como virtualidades metodológicas (ou imperativos psicológicos). O contrário, ou seja a unicidade ou a grande durabilidade das consistências, seria um sinal "alarmante" de que não estão a ser produzidas novas ideias. Daí ao dogmatismo, por cujo combate Feyerabend tanto pugna, vai um simples passo. É por isso que para o autor o recurso a uma diversidade de teorias alternativas constitui um "antídoto" contra esse mesmo dogmatismo:

> Ante todo, tal procedimiento invitará a la construcción de una gran variedad de instrumentos de medida. No habrá *un único* modo de interpretar los resultados, y el teórico estará preparado para cambiar rápidamente de una interpretación a otra. (Feyerabend, 1989, p. 109)

A liberdade garantida pela indeterminação dos factos "não só é psicologicamente importante" — permite a cientistas de diferentes estilos seguir as suas distintas inclinações, contribuindo para o reforço da auto-satisfação e da auto-estima —, "como é também necessária por razões metodológicas" (Feyerabend, 1989, p. 76). B. S. Santos (1992) releva também o "pluralismo metodológico" saído da "riquíssima reflexão" propiciada pelo debate aceso entre paradigmas. E fá-lo nos seguintes termos:

> Perdida a inocência empirista, a via de acesso ao conhecimento certo tornou-se uma via sinuosa e cheia de percalços, em suma, uma via dolorora. (...) Essa consciência da complexidade traduziu-se na ideia de que, se não há um caminho real para aceder à verdade, todos devem ser tentados na medida do possível. Daí o pluralismo metodológico, a combinação, por exemplo, entre métodos qualitativos e quantitativos e, consequentemente, o uso articulado de várias técnicas de investigação. (p. 83)

Mas, na sua opinião, o pluralismo metodológico não deve ser confundido "nem com o anarquismo metodológico [encarado em sentido radical ou

caricatural, acrescentamos nós] nem com o ecletismo metodológico". Isso porque, "ao contrário do primeiro, o pluralismo metodológico parte de uma lógica de investigação que prescreve normas para a selecção e utilização dos métodos, e porque, ao contrário do segundo, a mesma lógica de investigação limita a diversidade entre os métodos utilizados e estabelece hierarquias entre eles"(p. 83).

Consideramos relevante esta posição de B. S. Santos, na medida em que, ao acentuar a positividade do pluralismo metodológico de Feyerabend, tem a preocupação de alertar para que não se trata de um anarquismo sem regras — fama de que a mesma postura de Feyerabend não se livra — nem de um ecletismo amorfo e acrítico.

B. S. Santos chama ainda a atenção para a "complexa dialéctica entre qualidade e quantidade" que sempre terá existido na história das ciências sociais. Dialéctica essa que "existirá sempre (ainda que de grau e tipo diferentes) mesmo que a *comunidade científica* seja por hipótese (absurda) *assanhadamente dogmática em favor da metodologia qualitativa* [itálico nosso], pois as experiências de que um cientista se serve para se auto-convencer são sempre relativamente diferentes daquelas de que se serve para convencer competentemente a comunidade científica" (p. 26).

A positividade da existência de teorias diversas, transformada em fecundidade recíproca, é também algo que pudemos recolher na própria obra de Popper. Defendendo que Kuhn, numa "perspectiva histórico-científica, não tem razão", Popper, na obra *O Futuro Está Aberto,* escreve, com efeito, o seguinte:

> Uma das teses de Kuhn (...) é a de que toda a ciência amadurecida se encontra num estádio em que existe *uma* opinião fundamental. Isto é puramente falso. A história da ciência demonstra que a teoria da matéria, desde Parménides e Demócrito até

> Heisenberg e Schrödinger, coexistiu em duas correntes, em dois paradigmas, na acepção de Kuhn, ou seja, a "Teoria do continuum" e a "Teoria do descontinuum". E que ambas as teorias, antagónicas, não só se contrapõem uma à outra como são *reciprocamente fecundas* [itálico nosso]. O que contradiz fortemente a teoria kuhniana. (Popper e Lorenz, 1990, pp. 53-54)

Diversidade e Cooperação Metodológica: um Imperativo em Ciências da Educação

> Instead of choosing between the inductivist which teaches the law of energy as an experimental result, and the instrumentalist approach which sees in it a convention or definition, the student should follow the fascinating discussions between the great scientists who all viewed this law in a different light, and who yet all contributed some important chapters to the theory of energy.
>
> — *Elkana.*

Fazendo agora o ponto da situação, parece estarmos em condições de reafirmar que a convicção pessoal que antes proclamávamos, relativa à complementaridade dos paradigmas quantitativo e qualitativo na investigação educacional, colhe, no plano filosófico (epistemológico), considerável apoio.

É óbvio que tal apoio não é total. As incomensurabilidades entre paradigmas podem até acontecer em algum plano que seja. Não podemos, por conseguinte, forçar o consenso onde ele não existe. Mas, por outro lado, não é líquido que consegui-lo fosse necessariamente uma virtude. A diversidade de pontos de vista poderá ser mais profícua e mais fecunda do que a unanimidade total. E é essa "fecundidade recíproca" que nos parece poder sobressair e ganhar actualidade, quando em vez das tensões privi-

legiamos as sinergias possíveis. Isso não implica, nem haverá razões para implicar, que haja a necessidade de identificar completamente paradigmas, isto é, de cair no "ecletismo metodológico acrítico" de que fala B. S. Santos.

Esse é, como afirmávamos noutro local, o sentir de uma parte significativa da comunidade educativa, passados que foram os anos conturbados da "Guerra dos Paradigmas". É inegável que alguns educadores continuam com dúvidas quanto à justeza da complementaridade entre paradigmas no domínio da investigação educacional:

> The field of educational research is replete with rival theories and contrasting approaches, and in many cases it is not apparent whether these are, in fact, conflicting or complementary. (Phillips, 1981, p. 248)

Apesar dessas dúvidas — afinal legítimas e, de qualquer modo, já afastadas do radicalismo de outros tempos —, é possível encontrar testemunhos que indiciam terem sido as mesmas de algum modo superadas. L. Anderson e Burns (1989), por exemplo, são de opinião que, apesar de assentes em premissas diferentes acerca do mundo natural e social, focalizarem a sua atenção em aspectos diversos dessa realidade, e utilizarem mesmo sistemas de linguagem diferentes, existem razões para acreditar que ambos os sistemas quantitativo e qualitativo "coexistem", dando cada um a sua contribuição específica para o estudo dos fenómenos educativos. Preferem, por isso, encará-los como pólos de um *continuum* — espécie de estilos de investigação. Na sua opinião, se muitos estudos educacionais podem ser facilmente enquadrados num dos pólos do *continuum,* outros existem, porém, que é mais correcto categorizar como "híbridos":

> We believe that such hybrids are *benefical* [itálico nosso] to the field of classroom research. (p. 73)

Riba (1992), tendo subjacente a mesma ideia de complementaridade, afirma que o debate estabelecido entre os investigadores educacionais que trabalham no quadro de cada um dos paradigmas, tem tido a virtude de estabelecer quais são os limites de cada modelo de investigação e o tipo de questões que são significativas e adequadas a cada um deles. Contribuiu, por isso, para uma concepção funcional e mais aberta da investigação educacional e das suas técnicas e instrumentos.

Power (1976), por seu lado, preconiza a utilização de diversos paradigmas no mundo da educação (mais concretamente da educação em ciências), por uma razão muito mais pragmática. Para a fundamentar recorre a uma asserção do próprio Kuhn (1970b):

> Of course [scientific education] is a narrow and rigid education, probably more so than any other except perhaps in orthodox theology. (p. 166)

Para Power, como para Kuhn, a educação em ciências é ainda uma "ciência imatura" ou pré-paradigmática. Não existe, nem pode existir — nem sequer, a nosso ver, será provável (desejável?) que isso venha a acontecer — um paradigma único consolidado. A opção radical por uma ou outra abordagem seria, por isso, uma decisão paradoxal.

Para averiguar o que se passa relativamente à comunidade dos investigadores portugueses, iremos socorrer-nos de um trabalho de A. Nóvoa (1991) intitulado *As Ciências da Educação e os Processos de Mudança.* Esse trabalho foi apresentado no Colóquio Nacional *Ciências da Educação e Mudança,* realizado em Lisboa, em Janeiro de 1991, sob a égide da Sociedade Portuguesa de Ciências da Educação. Em certo ponto desse trabalho, Nóvoa escreve:

> Parece que o caminho está finalmente trilhado para que os esforços identitários das Ciências da Educação se desenvolvam no sentido da pluralidade, abarcando a diversidade das abordagens metodológicas e integrando toda a complexidade do pensamento científico. (p. 29)

Pluralidade disciplinar e diversidade metodológica são pois as pedras-angulares do discurso de Nóvoa. Não cabe aqui tecer considerações alongadas acerca da pluralidade epistemológica das ciências da educação. Cabe, isso sim, relevar na posição de Nóvoa indícios inequívocos a favor de uma pluralidade metodológica (crítica) para a investigação educacional, concretamente para a investigação educacional de origem portuguesa.

Mas da idealidade à realidade vai sempre uma grande distância. E o que é verdade é que, após exaustiva análise dos projectos de investigação educacional que têm sido desenvolvidos em Portugal, a situação não parece ser de molde a causar grandes regozijos. Embora pareçam "esbater-se alguns antagonismos e dicotomias (como, por exemplo, entre métodos quantitativos e qualitativos)", verifica-se, por outro lado, "uma certa 'moleza' metodológica, nomeadamente na concepção e aplicação dos instrumentos de pesquisa e no tratamento dos dados, que não contribui para a credibilidade científica da investigação educacional". É frequente a "adopção de abordagens relativamente simples, com grande predominância dos métodos descritivos e dos inquéritos" (pp. 43-44), isto é, de técnicas de investigação qualitativa pouco elaboradas e, por vezes, pouco consistentes teoricamente.

Parece, assim, carecer a comunidade investigativa educacional portuguesa ainda de um rumo, de uma dinâmica e de uma riqueza metodológica sustentadas, capazes de lhe assegurarem autonomia, credibilidade e reconhecimento face a outras comunidades científicas nacionais e internacionais.

Se este nosso trabalho puder dar algum contributo, por pequeno que seja, para a superação da "moleza " investigativa a que se reporta Nóvoa, terá ele cumprido uma das principais finalidades que qualquer estudo em educação deverá prosseguir.

Concluída que está a *fundamentação epistemológica da metodologia* que utilizámos, é chegado o momento de procedermos à sua concretização. Diferenciaremos no que se segue duas vertentes fundamentais:

- uma **vertente metodológica quantitativa**, a qual constitui o *cerne* da pesquisa em que aqui nos envolvemos;
- uma **vertente metodológica qualitativa** que, não sendo dominante em termos de ênfase e extensão, assume um papel complementar insubstituível e imprescindível, tendo em vista, sobretudo, a orientação metacognitiva dessa mesma pesquisa.

5.2

VERTENTE QUANTITATIVA: CARACTERIZAÇÃO GERAL

As Amostras

A formação dos grupos envolvidos no estudo não pôde ser realizada aleatoriamente, por se tratar de turmas já constituídas — isto é, de grupos "intactos" (Cohen e Manion, 1985) —, pertencentes a duas escolas secundárias (X e Y) da cidade de Évora. Não era obviamente possível interferir no processo de organização dessas turmas. Havia que tirar partido das turmas que os professores que acederam a colaborar na investigação tinham nos seus horários — facto que revela, aliás, uma óptima colaboração dos orgãos de gestão e de alguns professores dessas escolas.

As nossas amostras são, por isso, de tipo "acidental", termo que Guilford e Fruchter (1986) reservam para aqueles casos em que as amostras utilizadas não são as ideais (em termos de investigação experimental pura) mas apenas as possíveis. Para efeitos de tratamento estatístico, os sujeitos participantes foram divididos em três grupos, *dois experimentais* (**E1** e **E2**) e *um de controlo* (**C**). Correspondia-lhes, respectivamente, uma *abordagem experimental* e uma *abordagem de tipo tradicional,* abordagens essas que caracterizaremos mais adiante.

- O Grupo C frequentava a Área de Sáude do 10.º ano de escolaridade, na escola secundária X. Correspondia-lhe uma turma de

alunos, com a média de idades de 15,4 anos, estando quase todos eles inscritos pela primeira vez nesse ano de escolaridade.

- O Grupo E1 (média de idades de 16,3) frequentava a Área de Agro-Pecuária do 10.º ano de escolaridade, igualmente na escola X. Cerca da terça parte dos alunos encontrava-se a repetir aquele ano de escolaridade pela segunda vez.

- O Grupo E2 (média de idades de 15,2) só para efeitos de tratamento se pode considerar um grupo intacto. Corresponde, com efeito, a dois subgrupos, cada um deles proveniente de duas turmas experimentais autónomas, pertencentes à escola Y.

Previa-se no plano inicial (e assim sucedeu, efectivamente, durante a intervenção propriamente dita) que aquelas duas turmas formassem, cada uma delas, um grupo autónomo, mesmo para efeitos de análise estatística. Impedimentos vários vieram, contudo, a inviabilizar tal pretensão. Mais especificamente, não foi possível recolher para todos os seus alunos dados referentes a algumas variáveis dependentes e também às variáveis moderadoras *estilos epistémicos* e *pensamento lógico*. Desse modo, enquanto que nos grupos E1 e C a realização dos pós-testes surgia enquadrada no processo geral de avaliação dos alunos, no caso de E2 isso acontecia muito na base do voluntariado.

Por outro lado, enquanto que os grupos E1 e C beneficiaram de um tempo de intervenção de cerca de *cinco meses* (princípios de Janeiro a meados de Junho), no tocante às duas turmas antes mencionadas, esse tempo de duração seria encurtado de cerca de três semanas (finais de Janeiro a princípios de Junho). Isso ficou a dever-se a dois motivos principais:

- Primeiro, a condicionantes derivadas da própria organização da escola Y que, por ser a maior escola secundária de Évora, e nela funcionarem os cursos nocturnos de toda a cidade, se vê confrontada com toda uma série de constrangimentos, traduzidos, nomeadamente, na necessidade imperiosa de terminar o ano lectivo mais cedo, a fim de tornar possível a realização dos muitos exames e provas finais a seu cargo.

- Segundo, ter-se na mesma escola verificado um arrastamento da leccionação do programa referente à componente de química, muito para além das previsões que inicialmente nos haviam sido transmitidas.

Tudo isso são, contudo, imponderáveis com que o investigador educacional se tem necessariamente de defrontar, sobretudo quando a sua acção investigativa implica interferência concreta nas actividades da sala de aula. Por isso, apesar das condicionantes apontadas, julgámos por bem não desperdiçar todo o manancial de informação recolhida — muito embora possa ele não obedecer aos cânones estritos da investigação quantitativa —, bem como todo o esforço investido por nós e pelos professores que connosco colaboraram, durante o tempo que durou a intervenção.

Torna-se evidente que a menor duração da experiência no Grupo E2 teve repercussões inevitáveis, mas compreensíveis, na condução do processo investigativo específico. Essas repercussões fizeram-se sentir mais ao nível da intensidade do treino em resolução de problemas do que ao nível da quantidade de conteúdos abordados: aí a diferença não foi de molde a inviabilizar a aplicação do mesmo teste a todos os grupos incluídos no de-

senho. Algumas notas importantes nos parecem adquirir para já alguma pertinência:

1. Nos gráficos e tabelas a incluir no próximo capítulo, algumas *lacunas* irão de imediato fazer-se notar. Têm elas a ver com a inexistência, nalgumas vertentes da análise, por motivos já explicados, de certos dados correspondentes ao Grupo E2.

2. A comparação que nesse capítulo será estabelecida entre os desempenhos do Grupo E2 e do grupo de controlo não tem, nem poderia ter, o mesmo estatuto (ou a mesma significância) que a que é estabelecida entre o mesmo grupo de controlo e o Grupo E1.

3. Também não nos pareceu legítimo, a não ser em casos pontuais (mas mesmo assim, apenas com mero valor indicativo) estabelecer comparações sistemáticas entre ambos os grupos experimentais. Quer dizer: a função essencial que o Grupo E2 acabou por assumir neste estudo foi a de complementar e reforçar as inferências derivadas a partir do confronto E1—C.

Os Professores

Como demos já a entender, o estudo teve por campo de acção a componente de física (essencialmente cinemática e dinâmica) do programa da disciplina de Ciências Físico-Químicas do 10.º ano de escolaridade[46].

---

[46] Referimo-nos aqui ao programa que se encontrava em vigor antes da generalização, a esse ano de escolaridade, dos programas enquadrados na Reforma Educativa em curso.

Na escola X, a condução do processo didáctico (ou seja a responsabilidade pela leccionação) foi assegurada, tanto no Grupo E1 como no grupo de controlo, pelo próprio investigador. Para que tal tivesse sido possível, teve o investigador que encetar contactos com a professora que na respectiva escola iria ter a seu cargo ambas as turmas e com o respectivo Conselho Directivo (actual Comissão Executiva). A pronta anuência e disponibilidade de ambos facilitou o andamento do processo.

Atempadamente (isto é, antes do início do ano lectivo) acordou-se então que a referida professora se iria encarregar da leccionação da componente de química, até por volta do final do 1.º Período lectivo. Passaria depois para o investigador a responsabilidade pela docência em ambas as turmas, já no que tem a ver com a componente de física. É assim que, pela segunda semana de Janeiro, o investigador dá início ao trabalho de campo propriamente dito — não sem que antes tivesse tido alguns contactos com os alunos, a fim de os habituar, pelo menos, à sua presença. Nalgumas ausências pontuais, teve a coadjuvação da mesma professora.

Na escola Y, a situação foi naturalmente diversa. Em ambas as turmas experimentais (correspondentes aos subgrupos E2A e E2B) a função docente foi desempenhada durante todo o ano lectivo pelas respectivas professoras. Tratava-se de duas docentes de Física/Química, efectivas naquela escola, e já com alguns anos de experiência (sete e seis, respectivamente). Ambas obtiveram a sua formação inicial no curso de Licenciatura em Ensino da Universidade de Évora. Nessa Universidade foram, inclusivamente, alunas do investigador: a primeira, em várias disciplinas de física; a segunda, para além dessas disciplinas, teve o investigador como orientador pedagógico durante o ano de estágio (5.º ano da Licenciatura) e, por sinal, na mesma escola em que se encontra efectiva.

Havia, assim, algumas garantias de que entre o investigador e as suas colaboradoras pudesse existir fácil identificação de pontos de vista. A complexidade da problemática em jogo, dos modelos didácticos a utilizar, aconselhava a não se ficar por aí. É assim que, tanto nos meses que precederam a intervenção como durante ela, foram realizadas frequentes *sessões de trabalho conjuntas,* com a finalidade de garantir formação e sensibilização para os modelos, técnicas e materiais de apoio a utilizar. Todos os documentos concebidos pelo investigador, para uso no grupo experimental a seu cargo, foram fornecidos às duas professoras e com elas sistemática e exaustivamente discutidos.

O Desenho Experimental

A natureza das nossas amostras (grupos intactos, constituídos por selecção não aleatória) tornava impossível garantir a sua equivalência estatística inicial; equivalência essa que possibilitasse o controlo de variáveis importantes, como a competência inicial dos alunos em resolução de problemas qualitativos e quantitativos, a sua competência metacognitiva, o seu conhecimento declarativo e processual em física, as suas aptidões e capacidades específicas favoráveis à aprendizagem daquela disciplina — corporizadas, por exemplo, no seu nível de pensamento lógico ou nos seus estilos epistémicos. O mais que se conseguiu foi escolher aleatoriamente (no caso das turmas a cargo do investigador) qual a turma que iria funcionar de grupo experimental e qual a que iria servir de grupo de controlo.

Mas essa escolha aleatória dos grupos não substitui aquilo que é considerado (ex., L. Anderson e Burns, 1989) a "pedra-angular" dos estudos experimentais puros: isto é, o controlo de variáveis parasitas (muitas vezes

factores intrapessoais), garantido pela formação dos grupos por selecção aleatória dos seus elementos. Esse controlo é determinante para que o investigador possa decidir se o efeito na variável dependente é devido à variável independente ou a variáveis moderadoras ou parasitas não controladas (Jesuíno, 1989).

Face a essas condicionantes, frequentes em estudos quantitativos educacionais com intervenção ao nível da sala de aula, surge como resposta o conceito de *quase-experimentação.* Aí o investigador consegue ainda manipular os níveis da variável independente, mas já não lhe é possível controlar aleatoriamente os grupos na sua constituição inicial. Assim se compreende a afirmação de Cohen e Manion (1985), segundo a qual a maior parte dos estudos "experimentais" em educação são, de facto, estudos quase-experimentais — compreensivelmente apelidados por alguns investigadores de "desenhos de compromisso".

Um dos desenhos quase-experimentais mais frequentemente usados é o *Desenho com Grupo de Controlo não Equivalente* (Jesuíno, 1989). Não sendo os grupos experimentais e de controlo estatisticamente equivalentes, não se dispensa neste caso o recurso a situações de pré-teste. Esse desenho pode, para o nosso caso concreto, ser simbolizado pelo seguinte diagrama:

E1	**O1**	**X**	**O2**
C	**O1**		**O2**
E2	**O1**	**X**	**O2**

Os símbolos representados têm os seguintes significados: **O1** e **O2** referem-se às observações (ou testagens) efectuadas, respectivamente, no início e no final da experiência; **X** representa o tratamento experimental (a sua omissão significa, obviamente, a não ocorrência desse tratamento); a linha a ponteado, separando as filas horizontais, indica que os grupos não foram constituídos por selecção aleatória.

As Variáveis: Primeira Definição

Não iremos para já explicitar e caracterizar toda a multiplicidade de variáveis que intervieram na análise que realizámos. Algumas razões servem para justificar esta nossa decisão:

1. Em primeiro lugar, sentimos a necessidade de ajustar a terminologia habitualmente adoptada em estudos e manuais que tratam a temática dos estudos quantitativos (ex., Tuckman, 1978) à que é utilizada pelo modelo de *análise da covariância,* o qual constitui o *núcleo central do tratamento* dos nossos dados quantitativos. Só mais à frente iremos justificar a opção genérica por esse modelo.

2. Em segundo lugar, entendemos aconselhável não separar a caracterização das variáveis dependentes e moderadoras da descrição dos instrumentos de medida através dos quais elas serão operacionalizadas.

Basta-nos por agora recordar que, para facilidade de organização e análise de dados, resultados e conclusões, decidimos categorizar essas mesmas variáveis em três grandes campos de análise:

- *Campo Nuclear da Resolução de Problemas*
- *Campo da Experiência Metacognitiva*
- *Campo Afectivo*

A lógica desta categorização é algo que facilmente se perceberá na discussão que prossegue, nomeadamente quando procedermos à descrição dos instrumentos de medida utilizados. Para cada campo e para cada tipo de instrumento, tentaremos apresentar um referencial teórico e metodológico que o possa devidamente enquadrar. Supomos ser isso preferível a uma descrição meramente técnica e descarnada dos mesmos. Tal caracterização servirá, por outro lado, para descrever as variáveis com que esses instrumentos se relacionam.

A Intervenção Didáctica: Abordagem Experimental versus *Abordagem Tradicional*

Ao concluirmos o enquadramento teórico do trabalho, deixámos enunciadas aquelas que, na nossa opinião, devem ser as grandes linhas balizadoras de uma nova didáctica para a resolução de problemas de física. Considerámos implicarem elas mudanças significativas e profundas relativamente às abordagens que tradicionalmente são adoptadas.

Tais mudanças passam necessariamente pela opção por estratégias sistemáticas e profundas (em clara rejeição da "metodologia da superficialidade"); pelo reforço da dimensão qualitativa do conhecimento físico (em contraponto ao "operativismo cego"); pela importância crescente que deve ser conferida à explicitação (com consciencialização) do conhecimento

declarativo ou processual, com as implicações que isso possa ter no desenvolvimento metacognitivo dos alunos; e, por fim, pelo reconhecimento do papel decisivo desempenhado pelos mecanismos de representação e organização do conhecimento na resolução de problemas.

E foi em sintonia (assim o pensamos) com esses princípios — que são, simultaneamente, idiossincrasias epistemológicas e pedagógicas do investigador — que concebemos todo o desenho investigativo, particularmente a abordagem experimental que delineámos para o ensino da mecânica e da resolução de problemas nessa área. É essa abordagem que em baixo passaremos a descrever, sempre em *confronto* com a abordagem tradicional — expressão que, à falta de melhor designação, quer significar para nós todas aquelas metodologias habitualmente adoptadas nas aulas de física, onde aqueles princípios, por imperativos ou convicções vários, não são aplicados ou são descurados.

Fragmentação *versus* organização

1. **Abordagem tradicional.** Trata a mecânica newtoniana de uma forma compartimentada e sequenciada, surgindo dividida em *dois capítulos mais ou menos estanques:* cinemática seguida de dinâmica. O conceito de movimento é apresentados ao aluno em abstracto, quer dizer, sem qualquer relação com as entidades que lhe provocam variação, isto é, com as forças. O estudo da relação força-movimento (as leis de Newton) é, assim, abordado só no segundo capítulo (a dinâmica), depois de os alunos terem experimentado sérias dificuldades com o formalismo abstracto, denso e prolixo da cinemática.

No estudo do binómio força-movimento, um dos termos fica geralmente a perder. Com efeito, enquanto que o conceito de movimento costuma ser bastante escalpelizado na cinemática, o mesmo não acontece na dinâmica relativamente ao conceito de força. O aspecto crucial deste conceito — no fim de contas aquele que constitui a sua essência — poucas vezes é tratado de forma apropriada. Estamos a referir-nos à associação de força a uma qualquer interacção física, seja de contacto ou a distância. Mesmo quando se aborda a 3.ª lei de Newton (lei da acção e reacção), raramente essa associação surge devidamente explicitada: situação paradoxal, uma vez que é precisamente nessa lei que está configurada na sua máxima plenitude a ideia de força como interacção.

2. **Abordagem experimental.** A mecânica é agora ensinada de um modo integrado, não havendo lugar para uma divisão estanque entre cinemática e dinâmica (ver diagrama da Fig. 4, concebido para ser progressivamente completado pelos alunos).

   O estudo da relação força-movimento é neste caso o objectivo polarizador de toda a estratégia didáctica. Nesse sentido, em vez de se iniciar a unidade com o conceito de movimento (pensado em abstracto), começa-se precisamente por tratar a ideia de força como interacção. A lei da acção e reacção, habitualmente deixada para o fim, tem nesta estratégia um lugar destacado logo no início. Por outro lado, tendo em atenção a complexidade do tema, esse assunto, isto é, a ligação das forças às interacções entre corpos, será recorrentemente retomado sempre que se julgar oportuno[47].

---

[47] Adopta-se, aqui, aquilo que Guidoni (1989) designa de *Princípio da Diferenciação Progressiva*, um pilar fundamental da sua proposta para o ensino da mecânica.

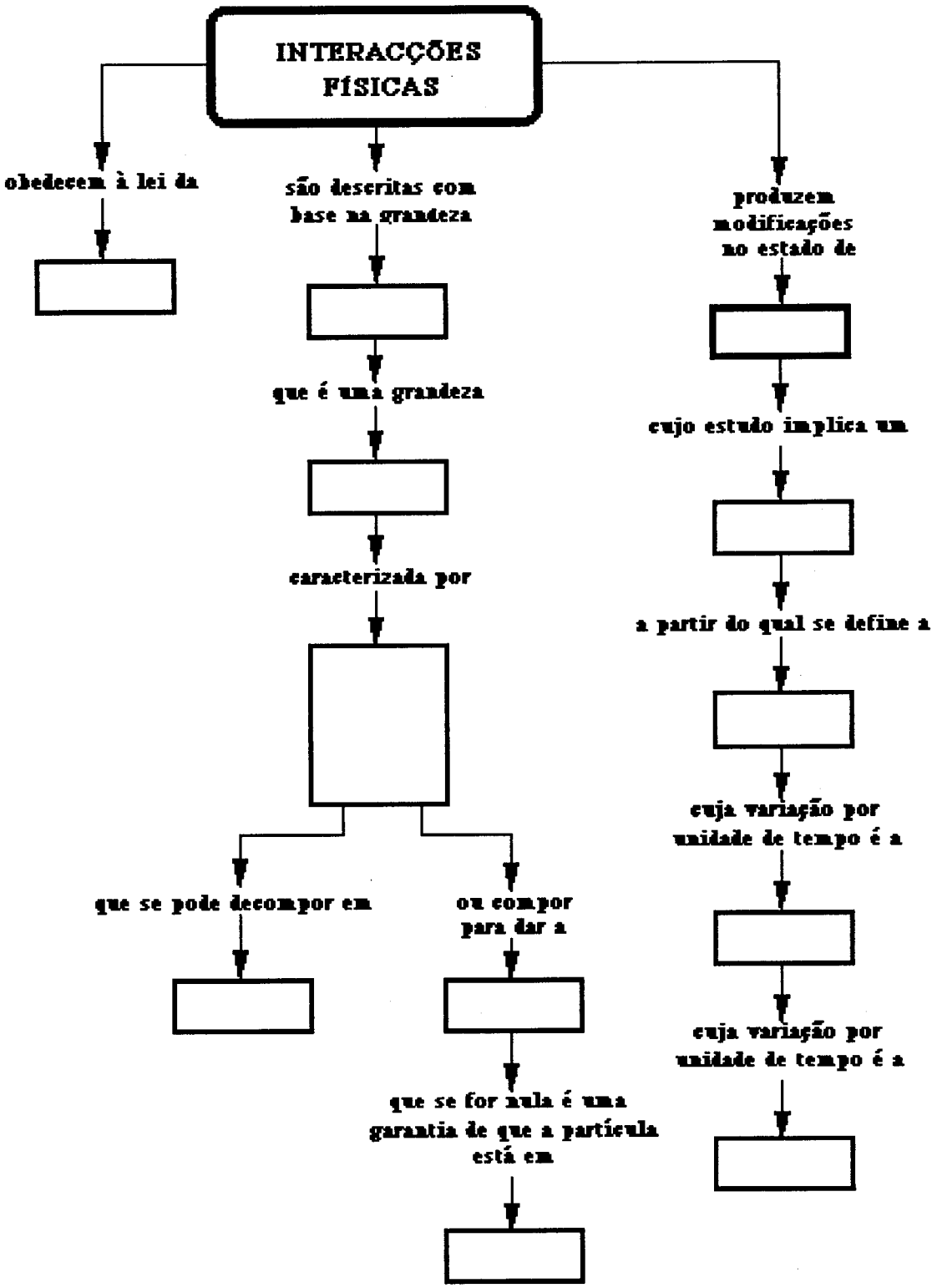


Fig. 4 —*Cinemática e Dinâmica: Estudo Integrado*

Além disso, faz-se logo uma pequena incursão à problemática do *equilíbrio,* procurando estabelecer elos associativos com outras relações mecânicas em estudo — por exemplo, com a condição de anulamento da força resultante e da aceleração, com a não variação do vector velocidade, etc. Tendo como ponto de partida este tratamento essencialmente qualitativo, e explorando todo o tipo de conexões julgadas adequadas, o aluno vai caminhando progressivamente para relações mais de tipo quantitativo, particularmente para a relação matemática que exprime a 2.ª lei de Newton. Esta lei acaba por ser, no fundo, o centro nuclear da estratégia experimental: para ela muita coisa converge e dela muita coisa (por exemplo, o conceito de momento linear) diverge.

Proliferação *versus* Integração

1. **Abordagem tradicional.** Como escrevíamos no ponto precedente, a não potenciação por esta abordagem das ligações, das relações hierárquicas, dos paralelismos e das analogias entre conceitos, implica que os mesmos sejam estudados independentemente uns dos outros. O aluno cria a impressão de ter de memorizar enorme quantidade de informação desconexa, sendo isso particularmente penoso (às vezes traumático) no caso das fórmulas matemáticas. Toda essa proliferação conceptual e formal contribui para a existência efectiva de um formalismo denso e opaco, impenetrável, por isso, à maioria dos alunos.

   No nosso caso concreto, o grupo que seguiu esta abordagem, isto é, o grupo de controlo, via-se confrontado com toda essa impenetrabilidade ao ter como fonte principal de estudo o manual didáctico adop-

tado, o qual, muito naturalmente, seguia de perto este tipo de abordagem. Há que confessar que, em certos casos — por exemplo na abordagem de alguns tipos de movimentos —, o nosso sentir pedagógico foi superior à nossa "disciplina investigativa", a ponto de decidirmos fornecer ao grupo de controlo materiais que havíamos concebido para uso exclusivo do grupo experimental.

2. **Abordagem experimental.** Neste caso, procurámos superar os vícios que antes apontámos à outra abordagem. Potenciámos, por isso, o máximo de ligações entre os diversos conceitos, tópicos e temas em estudo, tentando evitar a proliferação a que anteriormente nos referimos. Isso tudo com a finalidade de levar os alunos a perceber que os conceitos, as leis e as fórmulas que iam encontrando não constituem parcelas desligadas de conhecimento: existem entre eles relações lógicas de inclusão e equivalência formal. Foi nossa preocupação tirar o máximo partido da existência de *paralelismos e analogias* entre os conteúdos e suas relações (ver algumas dessas situações no Anexo 1).

   O aluno mais não tinha, nesses casos, do que saber identificar diferenças e semelhanças, quer em termos de conteúdo quer em termos de forma. Desse modo, os seus mecanismos de compreensão e de memorização ficavam bastante facilitados. Além disso, com esse tipo de estratégia, o aluno poderá mais facilmente criar uma representação de ciência não como um catálogo de factos mas como um todo sistémico (integrado, estruturado e organizado).

   Esta estratégia tem como suporte material substantivo o recurso a esquemas organizativos que podemos incluir na família dos *mapas de conceitos* (Novak e Gowin, 1984). Desenvolvidos a partir de pressu-

postos construtivistas, estas ferramentas didácticas têm colhido apoio crescente de professores e investigadores (ex., Novak, 1990; Heinke-Fry e Novak, 1990; Pankkratius, 1990).

Admite-se, em síntese, que a densidade do formalismo da mecânica será bastante atenuada e que o aluno não será tão afectado por sobrecargas escusadas de memória, muito devidas à proliferação conceptual de que falávamos. Mais especificamente, t*enta-se reduzir ao mínimo possível as fórmulas* que o aluno terá de decorar.

Descontinuidades *versus* Sinergias

1. **Abordagem tradicional**. Tendo (pelo menos para efeitos práticos) como pressuposto (numa linha bachelardiana radical) a identificação de *descontinuidades totais entre o conhecimento científico e o conhecimento espontâneo,* esta abordagem quase sempre ignora ou escamoteia a existência deste último e a sua influência (por vezes dominante) na aprendizagem e na resolução de problemas de mecânica. Quando identificado ou diagnosticado, é sempre com o objectivo de levar os alunos a abandoná-lo (ou a desprezá-lo), partindo da premissa de que a mudança conceptual entre um quadro de conhecimento espontâneo e um quadro de conhecimento científico é um objectivo pedagógico perfeitamente realizável.

   Como explicámos noutro local, essa não é, todavia, a nossa perspectiva. Para nós, a mudança conceptual não é um objectivo real mas uma meta ideal, inatingível na prática — pelo menos, no sentido em que tal implique o abandono total de concepções intuitivas, espontâneas ou de

senso comum. Dessa forma, mesmo no grupo de controlo, não podíamos nortear a nossa conduta pedagógica em função dessa meta. Não recorremos neste grupo a situações de diagnóstico sistemático de concepções de senso comum, mas também não conduzimos a nossa acção didáctica no sentido de levar os alunos a uma "mudança conceptual obsessiva".

2. **Abordagem Experimental**. Em contraste com a anterior, esta abordagem não ignora o conhecimento espontâneo, assim como não escamoteia a influência do mesmo na resolução de problemas de mecânica, particularmente de problemas de natureza qualitativa. Em consonância com essa posição, uma das vertentes fundamentais desta estratégia experimental residiu, exactamente, na identificação e discussão das concepções dos alunos associadas à relação força-movimento e a outros conceitos correlacionados. Aproveitando as respostas dos alunos aos pré-testes de natureza qualitativa, foi daí precisamente que partimos (ver Anexo 1).

   Era nosso objectivo — e para ele procurámos sensibilizar os alunos dos grupos experimentais — não levar esses alunos a "abandonar" o conhecimento espontâneo — até por sabermos, por exemplo através de Kelly (1963), ser essa uma missão praticamente impossível em termos psicológicos —, mas ajudá-los a tomar consciência do modo em que ele pode influenciar a sua interpretação das tarefas problemáticas propostas. É essa tomada de consciência, esse fortalecimento da reflexão metacognitiva, que direccionava a nossa acção nesse ponto e no que tem a ver com os mesmos grupos experimentais.

Estávamos assim convictos de que, perante problemas académicos destinados a testar a capacidade de utilização do conhecimento científico, o aluno poderia ser mais capaz de decidir a qual dos sistemas de construtos recorrer: se ao sistema espontâneo, com o qual ele é capaz de comunicar no quotidiano; se ao sistema científico, com o qual ele poderá vir a enriquecer e diversificar essa comunicação. Essa foi, em suma, uma das hipóteses-guia da nossa investigação.

Automatização *versus* Consciencialização

1. **Abordagem tradicional.** Tem por suporte fundamental a utilização de *tarefas "problemáticas" rotineiras,* conducentes a comportamentos mecânicos, automáticos e acríticos. Tais tarefas são essencialmente exercícios de computação numérica ou "problemas fechados", quase sempre assentes na utilização de regras e algoritmos previamente aprendidos e automaticamente aplicados.

   Correspondem-lhes *enunciados curtos e condensados,* onde os números predominam sobre as palavras (pelo menos em ênfase ou em estatuto); onde a situação física é apresentada de uma forma descarnada (descontextualizada); onde, enfim, todas as atenções convergem para o primado da fórmula e da computação automática que ela personifica. Em face dessas características, a identificação do verdadeiro problema está praticamente realizada à partida, não sendo o aluno estimulado a mobilizar e treinar esse tipo de estratégia, o mesmo acontecendo com a distinção entre o essencial e o acessório, a identificação da informação-chave e a concepção prévia de um plano de resolução. É muito provável que, para a maioria dos alunos, tais actividades se localizem

aquém da respectiva *zona pessoal de interesse óptimo* (de que fala Garrett) ou da *zona de desenvolvimento próximo ou potencial* (de que fala Vygotsky).

Sendo assim, serão actividades que pouco ou nada contribuirão para o desenvolvimento efectivo dos alunos (de cada aluno). Isso não significa que não possam elas impor algumas dificuldades; mas essas serão sobretudo derivadas da falta de conhecimentos básicos ou da dificuldade de activação na memória de regras previamente aprendidas. É óbvio que tais actividades dificilmente conseguirão incentivar o aluno a explicitar os seus processos de pensamento, como dificilmente poderão contribuir para o reforço das suas competências metacognitivas de resolução de problemas.

São desse tipo a maior parte das actividades de aplicação ("problemas") propostos nos manuais didácticos, no final de cada capítulo. E, em virtude de termos procurado seguir com o grupo de controlo a abordagem preconizada por um desses manuais, são também essencialmente daquele tipo as tarefas utilizadas com o referido grupo. E dizemos essencialmente porque, em casos pontuais, mas sem exploração sistemática, utilizámos com esses alunos problemas previstos para os grupos experimentais. A nossa intenção era que, nos pós-testes, os alunos do grupo de controlo não ficassem imediatamente bloqueados face à novidade de tais problemas, invalidando, assim, o objectivo investigativo das questões colocadas.

A dominância conferida à dimensão quantitativa do conhecimento torna improvável, por outro lado, a tomada de consciência pelo aluno da importância decisiva da base de conhecimento qualitativo na reso-

lução de problemas. Apenas contribui para a acentuação da obsessão do aluno pelas fórmulas, obsessão essa que o levará por certo, e ainda que inconscientemente, a descurar o estudo reflectido dessa mesma base de conhecimentos. Além disso, dificilmente o aluno perceberá que — ao contrário do que a escola normalmente veicula — um problema não tem que ser apenas uma tarefa onde se aplicam fórmulas e se realizam operações matemáticas. Se fosse assim, os nossos muitos problemas quotidianos não seriam realmente problemas mas possíveis exacerbações do nosso espírito.

2. **Abordagem experimental.** Sem negar a importância dos exercícios, das regras e dos algoritmos, como pré-requisitos necessários (embora não suficientes) para a resolução de problemas quantitativos de física, a abordagem experimental por nós delineada e implementada procura não se ficar pelos pré-requisitos. Apoia-se, por isso, em tarefas problemáticas de nível mais exigente, mais consentâneas com o significado de problema que desenvolvemos no capítulo 1. Tarefas concebidas, em suma, com a intenção deliberada de não canalizar ou viciar o aluno em comportamentos ou estados psicológicos, como o "operativismo cego", a obsessão pela fórmula e pelos dados numéricos, o pensamento mecânico e automático.

   Visando níveis de desenvolvimento mais elevados do que as da abordagem anterior, as tarefas aqui empregues, apesar de intelectualmente mais exigentes, procuram não projectar os alunos (cada aluno) para além das suas reais capacidades e potencialidades cognitivas. Visam, por outras palavras, as zonas de desenvolvimento potencial de cada um deles.

A novidade da situação é agora suficientemente moderada para, por um lado, obstar a que o aluno experimente bloqueamentos cognitivos e afectivos insuperáveis; e, por outro, garantir aquele mínimo de conflito cognitivo que é necessário à activação dos mecanismos motivacionais (Flavell, 1987). Dessa forma se pretende levar o aluno a ter que treinar o seu pensamento, e a desmobilizar tendências (ou vícios) de comportamentos automáticos, pouco reflectidos e, por isso, não metacognitivos.

Como suporte material desse procedimento, os alunos tinham à sua disposição *fichas de resolução metacognitiva de problemas de física* — a que, por vezes, nos referiremos simplesmente como *fichas de trabalho* (ver Anexos 2 e 3) —, concebidas por forma a proporcionar treino sistemático e orientado em estratégias cognitivas e metacognitivas de resolução de problemas e a incentivar os alunos a explicitar verbalmente (neste caso por escrito) processos de pensamento que dão corpo a tais estratégias. Essas fichas eram complementadas com outros materiais de apoio como textos, documentos informativos ou mapas de conceitos (Anexo 1.

Eram, além disso, realizadas e exaustivamente discutidas na sala de aula — algumas foram também propostas para trabalho de casa (Anexo 3), em jeito de estudo dirigido, e discutidas na aula seguinte, em momento para o efeito previsto. A discussão era concretizada nos mais diversos moldes: com a turma, com alunos individualmente e com os alunos aos pares. Insistimos nesta técnica de trabalho de grupo por duas razões fundamentais: primeiro, por ela nos garantir um mínimo de perturbação na gestão do espaço físico e nos movimentos dos alunos na sala — havia que potenciar ao máximo o pouco tempo de

que dispúnhamos; segundo, porque, inspirados na técnica de *Pensar em Voz Alta aos Pares* de Whimbey e Lochhead (1986), consideramos que este tipo de diálogo é mais propício para levar os alunos à explicitação verbal do seu pensamento, sempre sobre o estímulo do colega.

O *livro de texto* surgia aqui como uma fonte complementar de informação. Os alunos eram orientados sobre as partes do manual que importaria consultar. Dadas as características inovadoras desta abordagem experimental, não existia no mercado qualquer manual a ela adaptado. Restava ao investigador a construção dos materiais já referidos, dos quais se apresenta em apêndice uma amostra significativa (Anexo 1).

Importante foi também, a esse respeito, o recurso a toda uma diversidade de problemas ou questões de tipo qualitativo. Têm eles a vantagem, face aos problemas quantitativos, de condenarem ao fracasso qualquer tentativa de o aluno tomar como passo prioritário na resolução de problemas de física o recordar obsessivo da fórmula. Se essa mesma fórmula pode, de certo modo, ser encarada como o selo distintivo da abordagem tradicional, foi nosso propósito que isso não acontecesse no caso da estratégia que norteou a intervenção nos grupos experimentais.

E foi assim que, em vez dos enunciados propostos pelos manuais e genericamente adoptados pela abordagem tradicional, nós decidimos criar os nossos próprios enunciados para os problemas utilizados nesses grupos. Ao contrário dos primeiros, estes são *problemas de enunciados extensos,* onde as palavras predominam sobre os números. Exemplificamos um problema desse tipo, concretamente aquele que

serviu de base à consecução de uma parte significativa das entrevistas que realizámos:

Um porta-aviões de 1,5 x 10^5 toneladas, pertencente à força naval permanente da Nato, navega, em exercícios de treino para pilotos, ao largo dos Açores e rumo a uma base situada na costa leste dos Estados Unidos. Leva a bordo uma frota de aviões caça-bombardeiro de 12 toneladas, altamente sofisticados, e que exigem pilotos bastante treinados, não só para poderem descolar em cerca de 64 m de pista (operação que exige uma velocidade terminal de contacto com o solo no valor de 64 m/s) como para suportarem acelerações elevadíssimas.

Num dos dias do exercício, um dos pilotos em treino, fez-se à operação, consegue activar os motores de forma a garantir uma força motora global aproximadamente constante no valor de 38,4 X 10^3 N. Infelizmente, esse dia ficaria marcado pelo trágico acidente ocorrido com esse piloto que, não conseguindo descolar, veio a mergulhar nas águas do oceano. Foi o primeiro acidente verificado neste sofisticado porta-aviões e, devido a esse facto, o inquérito imediatamente levantado ainda decorre. A tripulação aponta para a existência de falha humana, tanto mais que os colegas do infeliz piloto testemunharam ter notado no amigo um elevado estado de angústia e ansiedade na véspera do treino. Haverá razões para pensar em causas desse tipo?

Por serem mais descritivos, estes enunciados permitem uma melhor contextualização da situação física em causa. Essa situação pode ser, por isso, mais facilmente visualizável e internamente representável pelo aluno, porque mais próxima da realidade concreta. Além disso, é esse mesmo carácter descritivo a implicar que, muito antes de tentar relembrar as fórmulas adequadas, o aluno tenha previamente de utilizar e desenvolver estratégias metacognitivas tendentes a identificar e caracterizar a natureza do problema. Antes, mesmo, ele ver-se-à impelido a ter de empreender esforços conscientes e consistentes no sentido de distinguir a informação relevante da irrelevante, tentando localizar as palavras ou expressões-chave — fundamentais como estímulos ou sinais da informação a activar na memória. Por outro lado, esse tipo de enunciado implica uma maior preocupação em fazer intervir

estratégias mentais de planificação, desincentiva o agir por tentativas, torna mais necessário o recurso a processos de avaliação e controlo metacognitivo.

5.3

INSTRUMENTOS DE MEDIDA

Começa-se por referir que, à excepção do *Inventário de Estilos Epistémicos,* todos os outros instrumentos de medida foram concebidos, adaptados ou compilados pelo próprio investigador. Impunha-se, por isso, a sua testagem prévia, quer no que diz respeito a questões relacionadas com a validade de conteúdo, quer no que tem a ver com a sua funcionalidade.

No que se refere à validade de conteúdo, e para além do suporte que a própria literatura a esse respeito estava em condições de fornecer, submeteram-se os mesmos à apreciação crítica de um *painel de juízes* que incluía: dois doutores e um mestre na área da educação em ciências, um mestre na área da psicologia da educação e dois professores de Física/Química do ensino secundário com experiência profissional e mérito reconhecido.

Uma vez introduzidas as rectificações sugeridas pelo referido painel, foram ainda os citados instrumentos de medida alvo de um *estudo piloto*, desenvolvido em duas turmas também do 10.º ano de escolaridade da zona escolar de Évora. Criou-se, assim, uma oportunidade de praticar a administração desses instrumentos, revelando ela algumas fraquezas e insuficiências antes insuspeitadas, nomeadamente ao nível da compreensão pelos alunos do significado das questões e tarefas propostas e da operacionalidade temporal de cada um dos instrumentos. Com os dados assim obtidos,

fez-se uma simulação do tipo de análise a utilizar, dela decorrendo algumas reformulações tidas por aconselháveis. Introduzidos que foram os ajustamentos assim julgados imprescindíveis, redigiu-se a versão final dos instrumentos, a qual, campo por campo, passamos de seguida a caracterizar.

Campo Nuclear da Resolução de Problemas

Na medição do leque de variáveis intervenientes neste campo, foram utilizados os instrumentos de medida que mais adiante se descriminam, aparecendo entre parêntesis as siglas com que muitas vezes passarão a ser identificados. Por necessidades metodológicas, os três primeiros instrumentos referenciados constituem três partes autonomizadas de um mesmo documento material de avaliação: a **Prova de Resolução Metacognitiva de Problemas de Física** (Anexo 4). Este documento não terá, por isso, estatuto próprio no tratamento estatístico dos dados. Feita esta ressalva, passemos então à listagem dos instrumentos relativos a este campo:

Instrumentos com duas versões (pré e pós)

- Teste de Resolução de Problemas Quantitativos de Física (**TRPQT**)
- Teste de Estratégias Metacognitivas de Resolução de Problemas de Física (**TESTM**)
- Questionário de Experiências Metacognitivas na Resolução de Problemas de Física (**QEXPM**)

- Teste de Resolução de Problemas Qualitativos de Física (**TRPQL**)

Instrumentos com uma versão

- Teste de Compreensão e Aplicação de Conhecimentos de Física do 9.º Ano (**TFIS9**)
- Teste de Compreensão e Aplicação de Conhecimentos de Mecânica do 10.º Ano (**TMEC10**)

Incluem-se ainda neste campo dois instrumentos relacionados com a medição de duas variáveis moderadoras:

- Teste de Pensamento Lógico (**TPLOG**)
- Inventário de Estilos Epistémicos (**IEEP**)

Teste de Resolução de Problemas Quantitativos de Física

Tanto a versão pré (**TRPQTpré**) como a versão pós (**TRPQTpós**) deste teste correspondem, no fundo, à resolução dos *dois problemas quantitativos* inseridos nas respectivas provas de resolução metacognitiva de problemas de física (Anexo 4).

Num estudo de orientação metacognitiva, pouco sentido teria se a classificação do desempenho dos alunos fosse realizada única e exclusivamente em função das características da resposta final (quantitativa) por eles apresentada nesses dois problemas. Vários foram por isso os aspectos tidos em conta e diversos os critérios utilizados, tendo em vista a especificidade de cada uma das versões do instrumento.

No caso do *pré-teste,* dada a escassez e o nível pouco aprofundado de conteúdos (essencialmente do 9.º ano) passíveis de poderem dar origem a

correlativos problemas académicos, os problemas em causa implicam forçosamente um processamento cognitivo pouco elaborado. Outra era, naturalmente, a situação em que nos encontrávamos, no que diz respeito ao *pós-teste*. O quadro que a seguir incluímos dá conta precisamente dos aspectos e *critérios* a que anteriormente nos referimos para avaliar o nível de desempenho dos alunos:

Quadro 1
Chave de Classificação de TRPQT

PRÉ-TESTE		
ASPECTO	**ITEM 1**	**ITEM 2**
Lei e fórmula adequada	**2 pontos**	**2 pontos**
Unidades de medida consistentes	**1 ponto**	**2 pontos**
Execução da estratégia	**2 pontos**	**4 pontos**
Resposta fundamentada e consistente	**1 ponto**	**2 pontos**

PÓS-TESTE	
ASPECTO	**ITENS 1 e 2**
Diagrama elucidativo	**3 pontos**
Leis, fórmulas e unidades apropriadas	**4 pontos**
Adequabilidade e explicitação da estratégia	**6 pontos**
Organização do material	**3 pontos**
Execução da estratégia	**4 pontos**
Resposta fundamentada e consistente	**2 pontos**

Apresentamos no Anexo 4 alguns indicadores estatísticos susceptíveis de complementarem a informação no que tem a ver com critérios de qualidade destes instrumentos de medida (fidelidade e análise de itens)[48]. Algumas palavras se impõem no tocante à legitimidade desses indicadores. Na verdade, tratando-se de testes apenas com dois itens, a análise da fide-

[48] Esta informação aplica-se também à generalidade dos outros instrumentos utilizados.

lidade dos mesmos, estudada a partir do α de Cronbach, poderia ser dispensável. Esse coeficiente de fidelidade pode, no entanto, ser aqui concebido como uma medida do grau de associação entre os dois itens do teste (entre os dois problemas quantitativos).

E, nesse sentido, começamos logo por assinalar o valor extremamente baixo desse coeficiente para o caso do pré-teste ($\alpha = 0{,}11$). Tudo se passa como se os dois itens estivessem a medir coisas dissemelhantes. Esse facto não nos causa grande surpresa. Os dois problemas tinham a ver com dois conceitos quantitativos abordados no 9.º ano: o conceito de pressão e o conceito de trabalho de uma força constante. As exigências conceptuais por eles impostas são bastante diferenciadas: mais exigente o de pressão, por ter subjacente uma relação de proporcionalidade inversa; menos exigente o de trabalho, por assentar na operação de proporcionalidade directa.

Para além dessa explicação, uma outra nos ocorre. Todos sabemos que no 9.º ano (e, em geral, em todos os níveis de ensino) os alunos são treinados a lidar com as leis físicas quantitativas (no caso, com as relações $p = F/A$ e $W = F \times d$) na perspectiva do cálculo meramente numérico, ou seja, numa postura de exercício mais do que numa postura de problema. Perante as duas tarefas problemáticas que propúnhamos, as quais implicavam ambas (sobretudo a da pressão) reflexão qualitativa, não admira, desse modo, que as respostas dos alunos tenham sido as mais diversas: isto é, praticamente aleatórias. É essa aleatoriedade que o valor baixo do coeficiente de fidelidade pode estar a traduzir.

Acresce ainda o facto conhecido (e por nós reforçado posteriormente) de ser reduzido o fluxo de aprendizagem significativa em tópicos de física

que os alunos transportam do 9.º para o 10.º ano. Muitos alunos já nem sequer se lembravam das fórmulas que deveriam presidir à resolução quantitativa dos dois problemas em questão. Apesar de tudo, os índices de discriminação dos itens são perfeitamente aceitáveis, significando isso que cada um tende individualmente a diferenciar os alunos no mesmo sentido que os dois em conjunto (isto é, que o teste). Por outro lado, na linha do que antes dissemos, constatou-se um valor elevado do índice de dificuldade do item relacionado com a pressão (média geral de 2,9 pontos em 10 possíveis, no conjunto de alunos formado por E1 e C).

Já para o pós-teste, todos os indicadores são bastante aceitáveis. O grau de associação entre os dois itens é relativamente elevado ($\alpha = 0{,}76$); assim como são bastante adequados os índices de discriminação e de dificuldade dos itens. Quer dizer: por razões compreensíveis, o pós-teste é, nesses aspectos, um melhor instrumento de medida do que o pré-teste correspondente. Essa irá ser uma constante para os outros testes, sobretudo para os testes de conhecimentos. A aleatoriedade que afecta o pré-teste aqui em discussão afecta de modo idêntico todos os outros pré- -testes de conhecimentos. Essa menor qualidade dos pré-testes foi uma das razões que nos levaram a adoptar como técnica nuclear de tratamento a *análise da covariância.* Mas a isso voltaremos em local mais oportuno.

Teste de Estratégias Metacognitivas de Resolução de Problemas de Física

Como deixámos expresso no capítulo 2, a metacognição é um conceito que, se bem que psicológica e pedagogicamente relevante, é fonte de frequente controvérsia. Controvérsia que emerge logo do facto de ao mesmo

designante "metacognição" corresponderem, afinal, duas formas de competência intelectual diferenciadas (apesar de dialecticamente relacionadas): o conhecimento da cognição (conhecimento "estático") e o controlo ou regulação da cognição (conhecimento "dinâmico") (A. Brown, 1975).

Compreende-se, por isso, que problemática seja também a operacionalização e medição do conceito. Um dos obstáculos que logo se colocam é a dificuldade manifesta em lidar com o seu carácter dúplice mas dialéctico. Dito de outro modo: nem sempre (ou quase nunca) o investigador tem a certeza de tendencialmente estar a medir a vertente estática ou a vertente dinâmica da metacognição.

Mas será que é mesmo possível medir aquilo que para alguns autores não passa de um epifenómeno? Se estivermos a pensar numa medição directa, é óbvio que a resposta à pergunta anterior será indiscutivelmente um não categórico. Na verdade, a medição da metacognição, a efectivar-se, só pode acontecer, à semelhança de qualquer fenómeno psicológico interno, de forma indirecta, mediada neste caso com base na explicitação verbal, colocando, nomeadamente, o sujeito a "pensar em voz alta".

Só que, entre o processo metacognitivo interno e a explicitação do mesmo, não existe relação isomórfica total. Além disso, esse *handicap* metodológico afecta de modo diverso as duas vertentes da metacognição: enquanto o conhecimento da metacognição é passível de ser relatado verbalmente, com consciência metacognitiva do facto, o mesmo não acontece necessariamente com o controlo da metacognição (A. Brown, 1987; Sternberg, 1985b, 1985d).

Conscientes dessas dificuldades metodológicas, que condicionam logo à partida a validade absoluta das medidas que obtivemos, partimos para a

construção dos nossos próprios instrumentos. Tivemos como pressuposto fundamental a ideia defendida no ponto 2.4 de, no contexto da resolução de problemas, a metacognição dever ser vista não como um fim em si mesma, mas como um poderoso meio "ao serviço da resolução de problemas". É por isso que os instrumentos de medida da metacognição vêm naturalmente inseridos no mesmo documento em que se apresentam os problemas quantitativos. Só por necessidades epistemológicas e de tratamento essas duas componentes se separam, originando instrumentos de medida autónomos.

E foi também por razões similares que subdividimos o instrumento de medida dos aspectos metacognitivos do estudo em dois instrumentos diferenciados, sendo agora altura de caracterizar o teste a que atribuímos a sigla **TESTM**, reservando a caracterização de **QEXPM** para secção posterior.

O teste de estratégias metacognitivas é constituído por um compósito de *seis questões,* repetidas duas vezes (tantas quantos os problemas quantitativos a que se reportam), correspondendo-lhe, por isso, um total de *doze itens.* Todas as questões são abertas. Ao responder, o aluno é levado a ter de explicitar verbalmente diversas etapas do seu percurso mental de resolução. A cotação máxima atribuída a cada questão era de *três pontos* ; a cotação efectiva obtida por um dado aluno nessa mesma questão (e, por isso, no item correspondente) era função da apreciação pelo investigador da qualidade da resposta, tendo em conta aspectos como a adequabilidade, a correcção e a exaustividade do discurso.

A opção por essas questões não aconteceu obviamente por acaso. São inspiradas em trabalhos afins já realizados em Portugal (ex., Cruz, 1989), no

âmbito de projectos de investigação desenvolvidos no Departamento de Educação da Faculdade de Ciências de Lisboa. Além disso, trata-se também de aspectos do funcionamento intelectual recorrentemente relevados na literatura, particularmente em diversos modelos de resolução de problemas nela publicados. Isso e a descrição dos itens é matéria que passaremos de seguida a apresentar — o código de cada questão corresponde ao número de ordem com que a mesma aparece na *Prova de Resolução Metacognitiva de Problemas de Física.*

- **Questão 1**. Esta questão pretende avaliar o desempenho do aluno na *identificação do problema* que lhe é colocado. Dada a extensão do enunciado, tal identificação exige dele maior esforço consciente do que aquele que lhe é correntemente exigido pelos enunciados tradicionais (curtos e condensados). Corresponde a uma tarefa cuja importância é relevada por todos os modelos clássicos de resolução de problemas, e também por todos os modelos de resolução metacognitiva de problemas. Constitui, por exemplo, uma das metacomponentes referidas por Sternberg (1985b) como cruciais para a resolução de problemas (e, de modo geral, para qualquer comportamento inteligente).

  Do sucesso dessa metacomponente depende a forma e a qualidade da representação inicial e, em resultado, a adequabilidade e a correcção da estratégia de resolução a adoptar — está, nesse sentido, em íntima conexão com o que Flavell (1987), no seu modelo da monitorização cognitiva, designa de "objectivos" da tarefa.

- **Questão 2.1.** Corresponde à identificação das grandezas, conceitos ou leis com que o problema pressuposto se relaciona. Decorre naturalmente da estratégia metacognitiva anterior, agora mais focalizada para

a especificidade conceptual do campo em que a situação problemática se enquadra, isto é, para a mecânica.

- **Questão 2.2.** Coloca o aluno perante a necessidade de ter de discernir o *material linguístico* que é *absolutamente indispensável* à resolução do problema, daquele que é simplesmente acessório (embora eventualmente útil, como complemento ilustrativo). O modelo de Flavell (1987), na parte designada pelo autor de "variáveis de tarefa", contempla expressamente essa competência. A qualidade da tomada de consciência prévia do estatuto diferenciado dos elementos do discurso que dão corpo ao enunciado irá condicionar necessariamente todo o processo de resolução. Dela depende, por exemplo, a decisão quanto ao tipo de informação a activar na memória a longo prazo.

- **Questão 2.4.** Esta questão tem por objectivo avaliar a competência do aluno na formulação de *previsões* quanto à solução que o problema por ele identificado possa vir (ou não) a ter. Trata-se de uma das estratégias metacognitivas (uma macroestratégia) especialmente relevadas no modelo de A. Brown (1978), a qual se encontra praticamente presente em todas as actividades de real incidência metacognitiva.

- **Questão 2.5.** Tem a ver com a *planificação mental das estratégias de resolução* a implementar. Constitui uma marca distintiva de todo o comportamento realmente metacognitivo, nisso se opondo radicalmente ao agir por tentativas ou ao agir automaticamente. Compreende-se que, tal como a anterior, seja uma das quatro estratégias metacognitivas que, no seu conjunto, representam, como advoga Brown, o cerne da resolução de problemas e, o que é mais, a própria "essência da inteligência". Opinião que é também partilhada por Sternberg (1986), ao incluir essa

estratégia no seu modelo como uma das metacomponentes mais importantes.

- **Questão 2.8.** Está relacionada com a capacidade de o aluno explicitar a *informação mais relevante que teve de ir buscar à memória,* distinguindo-a daquela que lhe era fornecida no enunciado. Embora entre explicitação e tomada de consciência metacognitiva não exista, como já dissemos, relação isomórfica, o que é verdade é que a qualidade da primeira é necessariamente condicionada pela qualidade da segunda. Nesse sentido, pode admitir-se que o grau de sucesso do aluno neste item é um indicador observável do seu grau de sucesso na tomada de consciência dos seus mecanismos e conteúdos de memória. Na discussão de uma das componentes do seu modelo, Flavell refere explicitamente que a tomada de consciência das metas explícitas ou implícitas que orientam a cognição (no caso, do verdadeiro problema) determina fortemente quais os esquemas que o aluno vai ter de activar na memória.

Uma vez caracterizadas as questões que configuram o **TESTM**, é oportuno acrescentar que tudo o que antes ficou dito se aplica a ambas as versões (pré e pós) do mesmo. No que diz respeito à qualidade dessas versões, os dados presentes no Anexo 4 permitem formular alguns juízos acerca da mesma. Constatámos, assim, que a fidelidade das medidas derivadas deste teste é bastante aceitável em ambas as suas versões: $\alpha = 0{,}76$ no pré-teste e 0,80 no pós-teste.

Essa aceitabilidade ganha mais significado quando se têm em conta os constrangimentos impostos a instrumentos que, como este, implicam a explicitação verbal de processos cognitivos não observáveis. Além disso,

uma vez que, tal como frisámos, todas as questões colhem forte apoio na literatura específica deste campo de investigação, podemos assumir a validade de conteúdo das mesmas como um pressuposto consistente.

Embora a análise de itens nos pareça aqui uma questão menor, chamamos a atenção para três aspectos que nela ressaltam: primeiro, a discriminação positiva que todos os itens asseguram em ambas as versões do teste; segundo, a aceitabilidade de praticamente todos eles no tocante ao seu poder discriminativo — apenas um dos itens (o correspondente à Questão 1, da segunda parte do teste) é, para esse fim, um "item marginal" (Hopkins e Stanley, 1981); terceiro, a extrema dificuldade (previsível, aliás) associada às questões que se relacionam com a previsão da resposta, a explicitação do plano mental e a informação activada na memória a longo prazo.

Teste de Resolução de Problemas Qualitativos de Física

O conhecimento que possuímos é "insignificante e escasso a não ser que o consigamos quantificar". Esse era, como vimos, o entendimento de Lord Kelvin, logo no século XIX, numa época em que (muito por influência newtoniana) os ventos corriam a favor da quantificação suprema do formalismo teórico das ciências físicas.

A fazer dessa afirmação (naturalmente descontextualizada) dogma de fé, diríamos ser a dimensão quantitativa só por si suficiente para ajuizar da competência dos alunos na resolução de problemas de física. Os testes quantitativos, em conjunto com os testes metacognitivos, poderiam só por si fornecer dados suficientes para o estudo que empreendemos. Mas essa

linha de argumentação rapidamente é travada quando nos lembramos da mensagem forte e sugestiva de Toulmin (1953):

> The place of mathematics in the physical sciences is something people tend to find mistifying. (p. 33)

Esse alerta nos faz lembrar que, por detrás dos processamentos quantitativos em resolução de problemas, sempre se encontra um mundo de factos, conceitos, leis e teorias, pensados aqui na sua dimensão qualitativa. Ou seja: a avaliação da competência dos alunos na resolução de problemas de física ficaria incompleta se o seu nível de desempenho ao nível dessa dimensão qualitativa não fosse considerado. Assim se justifica, na nossa opinião, o recurso aos testes qualitativos.

Trata-se de uma decisão que está em perfeita sintonia com toda a argumentação que apresentámos no número 4.2. Recordam-se, a propósito, os trabalhos de Gamble (1986), de Chi et al. (1981), de Hewitt (1983, 1990), de Osborne (1990). Recordam-se, por fim, as propostas representadas pelos modelos de resolução de problemas de física de Heller e Reif e de Gil Pérez e do seu grupo; neles, a dimensão qualitativa constitui um dos pontos-chave (se não o ponto-chave) dos respectivos modelos. Justificada que foi, em termos genéricos, a inclusão desta categoria de testes, resta-nos a respectiva caracterização específica.

TRPQLpré. Este teste (Anexo 4) é formado por um conjunto de *sete itens,* correspondentes a uma série de questões abertas que apenas implicam pensamento qualitativo. Têm elas por finalidade diagnosticar o estado inicial dos alunos, no que diz respeito a alguns conceitos e leis fundamentais do programa de mecânica do 10.º ano. O Quadro 2 ilustra a relação

de cada item do teste com os conteúdos de mecânica a que anteriormente nos referimos.

Quadro 2
Matriz de Conteúdos de TRPQLpré

ITEM	CONCEPÇÃO CIENTÍFICA DIAGNOSTICADA
1	• conceito de força resultante • o estado de repouso implica o anulamento da força resultante • conceito de força de atrito
2	• no caso de movimentos rectilíneos, a diminuição do valor da velocidade de uma partícula implica uma força resultante oposta ao sentido do movimento • conceito de força de atrito
3	• no lançamento de um projéctil, a única força que importa considerar é o peso do mesmo • relação entre peso e força gravítica • o movimento curvilíneo pressupõe sempre a existência de uma força resultante, com pelo menos uma componente centrípeta
4	• a acção gravítica da Terra sobre um corpo é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre o corpo e o centro da Terra
5	• a gravidade é um fenómeno universal • ser "leve" não é uma característica absoluta de um corpo mas uma sua qualidade relativa • a força de impulsão exercida pelo ar é decisiva na explicação do movimento dos corpos "leves" na atmosfera
6	• a gravidade é um fenómeno universal; concretamente, a gravidade terrestre faz-se sentir em todos os corpos submetidos à sua influência, sejam eles sólidos, líquidos ou gasosos
7	• a atracção gravítica é interactiva e simétrica; como todas as interacções entre corpos, é regulada pela lei da acção e reacção

Alguns dos itens foram retirados da literatura; trata-se de questões tipicamente usadas em estudos sobre concepções alternativas. Dada a sua recorrente utilização, é-nos já difícil localizar a fonte original. Outros foram concebidos pelo investigador (casos dos itens 5, 6 e 7).

Por outro lado, algumas das concepções diagnosticadas correspondiam a conteúdos formalmente abordados no 9.º ano (força resultante, gravidade, lei da acção e reacção, por exemplo); outros, essencialmente os que fazem intervir a relação força-movimento, ainda não haviam sido alvo de escolarização formal explícita (a não ser no caso de alunos repetentes). Nestas circunstâncias, pode admitir-se que, na realidade, este teste estaria a identificar e diagnosticar não um sistema de concepções científicas puras mas um complexo de concepções desse tipo, concepções espontâneas e concepções mistas.

Tendo em conta, porém, o facto já salientado de ser reduzida a assimilação pelos alunos dos conteúdos de física do 9.º ano, é legítimo pressupor — e os resultados a apresentar no próximo capítulo o reforçam — que o que este teste fundamentalmente mediu foi o estado inicial do conhecimento espontâneo dos alunos em assuntos relacionado com a mecânica newtoniana, a um nível introdutório de abordagem.

A cada um dos itens foi atribuída a cotação máxima de *três pontos*. A cotação efectiva obtida por um dado aluno era estimada tendo em conta a seguinte chave:

Quadro 3

Chave de Classificação de TRPQLpré

ASPECTO	COTAÇÃO
• Resposta certa e justificação completa e correcta	3
• Resposta certa com justificação incompleta mas correcta	2
• Resposta certa sem justificação ou com justificação pobre	1
• Outros casos	0

TRPQLpós. É um teste constituído também por *sete itens,* de formato muito semelhante ao que foi utilizado no teste qualitativo anterior, sobretudo na primeira parte. A finalidade das questões associadas a esses itens era, contudo, naturalmente diversa: pretendia-se, neste caso, diagnosticar já não um estado inicial de conhecimentos (essencialmente espontâneos), mas avaliar um estado final de conhecimentos científicos. Isto no pressuposto de que a mudança conceptual pudesse ter acontecido em grau elevado.

Só que, como já discutimos noutros locais, a mudança conceptual efectiva é em si um ideal longínquo — teremos ocasião de reforçar a legitimidade desta convicção no próximo capítulo. Nessas circunstâncias, o que de facto acabámos por constatar foi também a existência de um complexo de construtos de vários tipos e várias géneses em que, como é natural, o subsistema de construtos científicos surgia agora mais organizado e mais rico em termos de conteúdo do que anteriormente.

Apresentamos no Quadro 4 a relação entre cada item e a concepção científica ou as concepções científicas que ele pretendia identificar e caracterizar:

Quadro 4

Matriz de Conteúdos de TRPQLpós

ITEM	CONCEPÇÃO CIENTÍFICA AVALIADA
1	• posição, deslocamento, espaço e velocidade são conceitos cientificamente diferenciados • dois corpos em movimento, que num determinado instante se encontram na mesma posição, não têm necessariamente a mesma velocidade
2	• a aceleração representa a variação de velocidade por unidade de tempo; logo, a maior velocidade não corresponde necessariamente maior aceleração
3	• no lançamento de um corpo denso (metálico, p.e.) ao ar e na vertical, a única força que realmente interessa considerar é o peso do corpo • para que um corpo se mova numa dada direcção e sentido não tem necessariamente de existir uma força nele aplicada, actuando nessa direcção e sentido
4	• no espaço sem gravidade e na ausência de atmosfera (ou de outros agentes resistivos) e se nenhuma força actuar sobre um corpo, a resultante das forças a ele aplicadas terá de ser forçosamente nula • Se num corpo em movimento deixarem de actuar as forças que sobre ele actuam, o corpo não pára instantaneamente
5	• ao estado de repouso de qualquer corpo corresponderá sempre uma força resultante nula
6.1	• o número de forças que actuam num dado corpo é igual ao número de interacções diferentes que esse corpo estabelece com o seu ambiente • a interacção entre dois corpos (quaisquer que eles sejam) obedece sempre à lei da acção e reacção (3.ª lei de Newton)
6.2	• Se um corpo em movimento rectilíneo se move com velocidade constante, terá de ser nula a resultante das forças que nele actuam; não devem, por isso, ser consideradas as forças que actuam noutros corpos vizinhos, apesar de poderem corresponder a acções daquele corpo sobre estes últimos

A cada um dos itens do teste foi também atribuída a cotação máxima de *três pontos.* Na classificação das respostas efectivas dos alunos teve-se em conta uma chave idêntica à que foi utilizada no teste precedente — à excepção do Item 6.1 em que, dada a sua natureza específica, se atendeu sobretudo à exaustividade e correcção das forças representadas.

Qualidade dos testes. Como pode comprovar-se pelos quadros anteriores, pretendeu-se incluir em ambos os testes uma amostra significativa de algumas questões da mecânica newtoniana especialmente relevantes e pertinentes, tendo em consideração o nível introdutório a que trabalhámos. Conjugando esse facto com a opinião favorável dos juízes que consultámos, podemos assumir que a validade de conteúdo desses testes (cada qual com objectivos diversos) estará assegurada.

No que toca a questões de fidelidade, constatámos serem os coeficientes de fidelidade iguais em ambos os testes (0,62). Não sendo muito elevados, são contudo aceitáveis e de ordem de grandeza esperada. Na verdade, atendendo a que, mais do que outros, se trata de testes que têm como pano de fundo toda uma profusão de construtos idiossincráticos, o factor individualidade e a consequente aleatoriedade inerente são aqui difíceis de controlar. É, aliás, nossa convicção que, para testes desta natureza, coeficientes como o α de Cronbach outra função não têm do que a de simples indicadores do grau de associação interno entre o compósito de itens que constituem o instrumento.

Pensando agora na caracterização dos itens, as seguintes conclusões nos merecem alguma ênfase:

- Tanto num caso como no outro, trata-se de itens de discriminação positiva (sendo, nesse aspecto adequados) mas, por vezes, com

baixo poder discriminativo. Por razões já expostas, parece-nos ser essa, neste contexto, uma questão menos relevante. Até porque o que aqui está em jogo é mais a identificação de concepções do que questões de significância. Nesse sentido, apesar de serem alvo de tratamento quantitativo, estes testes, dada a sua peculiaridade, como que estabelecem a ponte entre uma perspectiva quantitativa ortodoxa e uma perspectiva dominantemente qualitativa.

- No que respeita ao grau de dificuldade dos itens, pode verificar-se, com base na comparação das médias efectivamente obtidas em cada um deles com a cotação máxima do item, terem os itens, na sua generalidade, oferecido sérias dificuldades aos alunos. Dificuldades essas que se fizeram sentir sobretudo no pré-teste — facto à partida previsível, tendo em conta argumentação já antes apresentada —, mas que se reflectem igualmente no pós-teste — situação também esperada tendo em conta a dificuldade de ocorrência da chamada "mudança conceptual". A esta questão voltaremos, todavia, noutro local.

Teste de Compreensão e Aplicação de Conhecimentos de Física do 9.º Ano

Este teste pretende avaliar, no que toca às categorias bloomianas da compreensão e da aplicação de conhecimentos (Bloom, Krathwol e Masia, 1976), alguns pré-requisitos supostamente adquiridos pelos alunos no 9.º ano de escolaridade, no programa da componente de física. Tais pré-requisitos, a serem dominados pelos alunos, iriam naturalmente favorecer a aprendizagem da mecânica no 10.º ano.

Parece, à primeira vista, ser este teste redundante relativamente a TRPQLpré. Embora exista alguma sobreposição entre ambos, ela é apenas parcial (Quadro 5). As questões científicas associadas a cada um dos itens eram, no essencial, as seguintes:

Quadro 5
Matriz de Conteúdos de TFIS9

ITEM	CONCEPÇÃO CIENTÍFICA AVALIADA
1	• compreensão qualitativa do conceito de pressão
2	• compreensão qualitativa da relação entre os conceitos de massa, volume e densidade e da relação entre massa e peso de um corpo
3	• compreensão da lei da acção e reacção
4	• compreensão do conceito de atrito e da relação entre atrito estático e atrito cinético
5	• compreensão da lei da atracção universal • explicação do movimento de corpos "leves" na atmosfera • compreensão qualitativa da variação da intensidade do efeito gravítico da Terra relativamente ao corpo que o sofre
6	• compreensão do princípio da conservação da energia
7.1	• aplicação da lei de Hooke a molas elásticas
7.2.1	• estabelecimento de previsões com base na lei de Hooke
7.2.2	• compreensão do significado do limite de elasticidade de uma mola elástica
8	• compreensão do significado físico da grandeza trabalho de uma força • aplicação da expressão W=F.d, referente à determinação do trabalho de uma força constante que actua na direcção do movimento

A cada item foi atribuída uma cotação máxima de *três pontos.* A chave de correcção utilizada foi (com as adaptações pontuais) idêntica à que apresentámos para os testes qualitativos precedentes. As afinidades com esses testes não se ficam por aí. Por exemplo, o coeficiente de fidelidade do teste aqui em causa é muito semelhante ao daqueles ($\alpha = 0{,}58$).

A média geral obtida pelo conjunto dos alunos respondentes (E1+C) foi bastante baixa (8,0 pontos em 33 possíveis), o que revela que o teste acabou por se revelar para eles bastante difícil. Como é natural, os índices de dificuldade dos itens são também elevados. Apenas o Item 3 atinge uma média satisfatória; todos os restantes se ficam por médias efectivas abaixo de um tecto correspondente a cerca da terça parte da cotação máxima. Nessas circunstâncias, e como seria de esperar, os índices de discriminação, apesar de positivos, são também bastante baixos.

Teste de Compreensão e Aplicação de Conhecimentos de Mecânica do 10.º Ano

Trata-se de um teste aplicado às turmas E1 e C, no curso normal do seu processo de avaliação somativa, o qual tem por domínio de acção os conteúdos que vieram a servir de suporte aos restantes pós-testes de conhecimentos. Isso deveu-se ao facto de a sua aplicação ter decorrido cerca de duas semanas antes de a intervenção terminar. Apesar de não estar inicialmente prevista a sua entrada na análise quantitativa, julgámos interessante a sua inclusão, como um contributo complementar (pontual) para a caracterização do estado final de conhecimentos atingido (neste caso, pelos grupos E1 e C).

Em virtude de se tratar de um teste mais de tipo convencional, coloca o grupo de controlo em situação menos desfavorável face ao que sucede com os outros testes de conhecimentos. Nessas circunstâncias, é susceptível de fornecer informações adicionais mais fidedignas em competências (compreensão e aplicação rotineira de conhecimentos) relativamente às quais o fosso entre as duas abordagens não terá sido tão acentuado.

Em face do exposto, fácil é perceber que entre este teste e TRPQLpós existam bastantes pontos de contacto, embora sejam profundamente diferentes na natureza e nos objectivos das questões que lhes dão forma. Na verdade, ao contrário do que acontece naquele teste qualitativo, abundam neste as questões de escolha múltipla e sem justificação. Isso retira-lhe qualidades, fundamentalmente no que tem a ver com a caracterização, mediatizada via discurso escrito, das concepções e processos de pensamento dos alunos.

O teste é composto por um conjunto de *onze itens,* correspondendo a seis deles (itens 1, 2, 6, 7 e 8) a cotação de dois pontos, a cinco (itens 3, 4, 9, 10 e 11) a cotação de quatro pontos e ao restante (Item 5) a cotação de cinco pontos. A diferença de cotações é uma consequência natural de diferenças correlativas na natureza e no formato dos itens: de escolha múltipla e sem justificação, o primeiro conjunto citado; de aplicação numérica ou com justificação, os restantes. O critério de classificação das respostas dos alunos é imediato no primeiro caso; no segundo segue-se um critério paralelo ao já utilizado para outros testes afins.

Consultando informação presente no Anexo 4, conclui-se ser aceitável o coeficiente de fidelidade deste teste ($\alpha = 0{,}64$), sobretudo se for tido em conta ter sido ele construído pelo investigador. Esse coeficiente é, curio-

samente (ou talvez não), muito idêntico aos dos testes qualitativos e de TFIS9.

Apresentamos igualmente em anexo dados que tornam possível formular uma ideia relativamente às características dos itens que o constituem. A dificuldade média dos mesmos está dentro do previsto, principalmente se se atender ao nível não muito elevado das duas turmas aqui em questão. O Item 11 é aquele que apresentou uma dificuldade média mais acentuada (média de 0,8 pontos em 4 possíveis). Essa dificuldade tem por trás, em nosso entender, a complexidade da cadeia de raciocínios que uma resposta correcta exigiria. Uma forma possível que essa cadeia poderia assumir seria a seguinte:

> espaços iguais em intervalos de tempo iguais (e movimento rectilíneo) → velocidade constante → aceleração nula → força resultante nula, o que, conjugado com a existência de uma força constante aplicada no sentido do movimento → a necessidade de existir uma força oposta ao movimento, facto que, conjugado com a situação concreta aqui em causa → a existência de uma força de atrito (cinético)

Pensando, finalmente, no poder discriminativo dos itens, concluímos ser ele relativamente pobre no caso dos itens 2 e 4, mas aceitável (por vezes bom ou muito bom) nos restantes (Hopkins e Stanley, 1981).

Teste de Pensamento Lógico

À designação "pensamento lógico" (em sentido piagetiano), corresponde, como antes tivemos ocasião de salientar, uma das vertentes em que o todo sincrético que constitui o pensamento costuma ser analisado. Essa vertente não é, por isso, representativa da globalidade da vida mental. No contexto

da teoria das múltiplas inteligências de Gardner, o pensamento lógico piagetiano é mais ou menos coextensivo precisamente com a inteligência lógico-matemática.

Sendo, tão só, um dos vários aspectos do funcionamento intelectual, a verdade é que, como discutimos no número 2.3, têm sido divulgadas inúmeras correlações positivas entre medidas do pensamento lógico e medidas do sucesso dos alunos em actividades de aprendizagem e de resolução de problemas de ciências. Alguns autores (ex., Chiappeta, 1976 ou Saarni, 1973) chegaram mesmo a admitir que o nível de competência nos esquemas do pensamento lógico pode constituir um bom preditor da capacidade de resolver problemas nessas áreas de ciências, especialmente no caso da física.

Ora acontece que, pouco tempo após termos iniciado o trabalho de campo ao nível da sala de aula, rapidamente fomos confrontados com o relativo baixo nível de funcionamento dos alunos na competência cognitiva aqui em consideração. Face a essa evidência directa, decidimos fazer intervir esse factor no nosso desenho experimental, como variável moderadora, admitindo, na linha de Chiapetta e Saarni, poder ela assumir-se como um bom preditor das mudanças que a experiência viesse a realizar.

Tomada essa decisão, havia que escolher ou construir um instrumento que nos parecesse adequado ao contexto em que trabalhávamos. Optámos pela segunda via, sobretudo por nos permitir ela encontrar, com base na literatura, um conjunto de tarefas de inspiração piagetiana, apropriadas ao referido contexto, isto é, que tivessem alguma familiaridade com a área disciplinar em que nos apoiámos, ou seja, com a física.

Na selecção das questões procurámos, na medida do possível, encontrar uma amostra suficientemente representativa dos "esquemas operatórios" que constituem a essencialidade do pensamento lógico piagetiano. Lembramos que, de acordo com Inhelder e Piaget (1961), são eles o *raciocínio combinatório,* o *raciocínio probabilístico* e o *raciocínio proporcional,* como "esquemas lógico-formais", e uma "regra" importante da lógica proposicional, transversal a todo o pensamento formal, a saber, o *controlo de variáveis.*

O instrumento por nós construído (ou melhor, compilado), que designámos de *Teste de Pensamento Lógico* (TPLOG), é, nessas condições, constituído por nove questões, a que correspondem *dez itens,* uma vez que a Questão 5 se encontra subdividida em dois itens. A correspondência entre essas questões e os esquemas ou regras operatórios é a seguinte:

Quadro 6
TPLOG: Esquemas Operatórios Avaliados

OPERAÇÃO	QUESTÕES
Raciocínio Proporcional	**1 e 2**
Controlo de Variáveis	**3 e 4**
Raciocínio Probabilístico	**5, 6 e 7**
Raciocínio Combinatório	**8 e 9**

Dada a complexidade (por vezes subtil) do raciocínio probabilístico, optámos por contemplar no seu caso, e para obter informação mais fidedigna, o dobro dos itens (4) que couberam aos outros esquemas avaliados.

As questões 1, 2, 3, 4 e 5 foram extraídas do instrumento designado por "Grupo-Teste de Raciocínio Lógico", concebido por V. Roadrangka, R. H. Yeany e M.J. Padilla (Universidade de Georgia, EUA) e adaptado para

português por V. Lemos (ESE de Castelo Branco). As questões 6 e 7 foram, por sua vez, extraídas do "Teste de Raciocínio Lógico" (TRL) de W. Capie (1983), adaptado para português por A. Martins (1985, Departamento de Educação da Faculdade de Ciências de Lisboa). Finalmente as questões 8 e 9 foram inspiradas em diversas fontes bibliográficas.

À excepção das questões 8 e 9, todas as outras têm formatos semelhantes: face ao enunciado proposto, o respondente terá de assinalar uma das opções quantitativas indicadas para a resposta global, seguida da justificação qualitativa que considere mais adequada a essa opção. A cada questão foi atribuída uma cotação máxima de *quatro pontos.* Por razões já expostas, o critério de classificação variava consoante o formato do item. Utilizou-se a seguinte chave:

Quadro 7
Chave de Classificação de TPLOG

CRITÉRIO	PONTUAÇÃO
Questões 8 e 9	
• Número máximo de combinações e estratégia sistemática	**3**
• Número máximo de combinações e estratégia aleatória	**2**
• Mais de 2/3 de combinações e estratégia sistemática	**2**
• De 1/3 a 2/3 de combinações e estratégia sistemática	**2**
• De 1/3 a 2/3 de combinações e estratégia aleatória	**1**
• Outros casos	**0**
Restantes Questões	
• Resposta certa e justificação correcta	**3**
• Resposta certa e justificação incorrecta	**1**
• Outros casos	**0**

No que diz agora respeito à qualidade do teste, começaremos por afirmar que, em termos de validade de conteúdo, esta encontra algum suporte nos seguintes factos: ser, como apontámos, o teste formado por uma amostra (cremos que representativa) das principais operações (ou esquemas) que, na opinião de Piaget, consubstanciam o pensamento lógico formal; serem essas tarefas das mais referenciadas na literatura para propósitos afins (e das mais utilizadas pelo próprio Piaget, ainda que com meios muitas vezes experimentais).

Quanto à fidelidade das medidas que o teste proporciona, obtivemos alguns indicadores que nos permitem formular diversos juízos a esse respeito. Verifica-se que o α de Cronbach, para o conjunto de medidas em causa, atinge um valor de 0,74 — valor esse que, atendendo ao facto de se tratar de um instrumento não padronizado, se pode qualificar de bastante razoável. Parece, assim, podermos depositar alguma confiança no teste em causa, no que à sua consistência diz respeito.

Passando agora a analisar a qualidade dos itens, os dados incluídos também em anexo levaram-nos a formular as seguintes conclusões:

- Todos os itens possuem um índice de discriminação positivo.
- De acordo com Hopkins e Stanley (1981), apenas o Item 8 deve ser considerado um item marginal; todos os outros são itens aceitáveis, destacando-se como "bons" ou "muito bons" os itens 1, 2, 3, 5.2 e 9.

Em consonância com o que antes assinalámos, convém chamar a atenção para a dificuldade que os alunos experimentaram em quase todos os itens que têm a ver com o raciocínio probabilístico. De notar, também, dificul-

dade idêntica associada ao Item 1, isto é, ao domínio da proporcionalidade directa. Muitos foram os alunos que assinalaram a resposta quantitativa correcta, mas que optaram por uma justificação qualitativa incorrecta. Ao assinalarem a resposta numérica, os alunos faziam-no com base na aplicação (materializada no próprio papel do teste) da "famosa" regra de três, isto é, tendo por base um cálculo numérico rotineiro. Ao terem de escolher o raciocínio qualitativo apropriado, os alunos já não eram tão bem sucedidos.

Inventário de Estilos Epistémicos

A expressão "estilos epistémicos" refere-se, tal como verificámos anteriormente, a um construto psicológico criado por Wardell e Royce (1977) com o objectivo de dar resposta a uma dupla necessidade que se vinha fazendo sentir no campo dos estilos:

1. Por um lado, julgava-se imperioso encontrar um conceito capaz de conferir alguma unidade conceptual e estrutural a um campo dela tão carecido como era esse.

2. Por outro, existia cada vez mais a convicção de que a individualidade, inicialmente identificada no campo da percepção, e posteriormente atribuída a toda a cognição em geral, parecia ser uma característica que, ao invés de confinada a esse âmbito cognitivo, caracterizava também o funcionamento afectivo e social, isto é, todo o funcionamento psicológico.

É nesse contexto que Wardell e Royce, concebendo os estilos como "um modo ou uma forma característicos de realizar os fenómenos cognitivos

e/ou afectivos", lançam a proposta dos "estilos epistémicos". Propõem, então, os três "grandes estilos gerais" — **racional**, **empírico** e **metafórico** —, que supunham traduzirem "três formas diferentes" de o indivíduo conhecer e abordar a realidade, isto é, de construir o seu próprio conhecimento.

Efectuámos já (secção 2.2) uma descrição epistemológica e psicológica destes estilos. Resta-nos, neste contexto, deixar uma breve caracterização dos mesmos, desta vez de sentido mais operacional (Rancourt, 1985):

- **Estilo racional**. Tem nas matemáticas o seu arquétipo típico. Os indivíduos onde ele é dominante tenderão a revelar uma forte disposição para actividades que envolvam pensamento lógico-formal, tendo como modo epistémico preferencial o raciocínio de tipo dedutivo.

- **Estilo empírico**. As ciências físico-naturais são agora o modelo que poderá tipificar este estilo. Preferir-se-á, neste caso, o envolvimento em tarefas que, não excluindo o recurso a processos de tipo dedutivo e de cariz lógico-formal, tenham forte dominância em vertentes observacionais e experimentais e mecanismos psicológicos e epistemológicos de natureza indutiva.

- **Estilo metafórico**. Sendo a utilização de metáforas e analogias um suporte substantivo deste estilo, o mesmo ver-se-á identificado em plenitude no domínio das artes em geral. Mais do que a dimensão convergente do pensamento, ganha aqui preferência a sua dimensão divergente ou criativa.

Tendo em conta alguns termos que foram utilizados na breve descrição que apresentámos ("disposição" e "preferência", por exemplo) facilmente se comprova o que antes se afirmava: a relação dos estilos epistémicos com a dimensão afectiva, nomeadamente com as atitudes.

Impõe-se neste momento uma explicação: a de justificar a opção que tomámos pelos estilos epistémicos, como uma variável moderadora plausível do desempenho dos alunos na resolução de problemas. Para já, a essa opção não é alheio o nosso posicionamento epistemológico, o qual consubstancia uma perspectiva não compartimentada mas holística do conhecimento (seja em sentido psicológico ou epistemológico). Nesse sentido, ao congregarem, supostamente, aspectos cognitivos e afectivos, os estilos epistémicos pareceram-nos uma boa e coerente aposta metodológica.

Mas uma outra razão, por certo mais pragmática, nos terá influenciado: serem para nós pouco apelativos os inventários existentes de estilos cognitivos (muito ligados à vertente perceptiva) ou de estilos de aprendizagem (pouco em sintonia com a natureza do nosso trabalho). Tudo isso não significa que o instrumento que escolhemos tenha sido a escolha mais apropriada. Apenas significa que, à partida, nos parecia ser a que ia mais ao encontro dos supostos epistemológicos e psicológicos em que nos apoiávamos e também da natureza específica do nosso estudo[49].

Concretizando, diremos que a nossa opção foi para o "Inventário de Estilos Epistémicos" de R. Rancourt (Canadá), adaptado para a língua portuguesa pelo Departamento de Educação da Faculdade de Ciências de

[49] O inventário de estilos de aprendizagem de Dunn e colaboradores (1987) pareceu-nos, por exemplo, mais adequado a investigações sobre "formas e condições de estudo" do que a investigações sobre "formas e processos de conhecer e pensar".

Lisboa, sob coordenação de M. O. Valente. Não obstante terem sido já recolhidos dados tendentes à validação dessa versão, os mesmos não foram ainda alvo de tratamento estatístico.

O inventário é composto por um conjunto de *vinte itens,* correspondendo a cada um deles três opções, cada uma delas associada a um dos três estilos epistémicos. Acompanha o inventário uma *grelha de categorização* que, para cada item, estabelece a correspondência entre a opção escolhida e o estilo que lhe subjaz. O respondente deverá, em cada item, assinalar a sua ordem de preferência (1.ª, 2.ª e 3.ª), correspondendo 5, 3 e 1 pontos, respectivamente, a cada uma dessas posições.

Com os pontos assim obtidos, completa-se a grelha de categorização, calculando-se para cada estilo a soma que lhe corresponde. À maior das somas corresponderá o estilo epistémico que é suposto melhor se ajustar à individualidade psicológica do respondente.

Campo da Experiência Metacognitiva

Questionário de Experiências Metacognitivas na Resolução de Problemas de Física

O teste de metacognição que simbolizámos por TESTM era sobretudo virado para aquilo que Flavell designa de "conhecimento metacognitivo" e, dentro dele, para o conhecimento de tipo processual — correspondente, no modelo de Brown, ao controlo da cognição e, no modelo de Sternberg,

ao conjunto das metacomponentes da inteligência. No caso deste questionário de incidência metacognitiva (QEXPM), a tipologia da maior parte dos seus itens constitutivos enquadra-se melhor no que no mesmo modelo de Flavell aparece sob o nome de "experiências metacognitivas". Nestas circunstâncias, na *Prova de Resolução Metacognitiva de Problemas de Física,* relacionam-se com este instrumento as seguintes *questões duplas* (isto é, repetidas):

Questão 2.3. Inclui quatro itens, identificados com diferentes estados metacognitivos em que o aluno se deverá ter envolvido antes da resolução propriamente dita do problema (ou seja, logo após a leitura que fez do enunciado).

Questões 2.7 e 2.9. Incluem três e quatro itens, respectivamente, relacionados, desta vez, com diferentes estados ou processos metacognitivos experienciados pelo aluno no período pós-resolução. Nesse complexo de itens (duplos), são essencialmente contempladas as seguintes experiências metacognitivas:

- **nível de compreensão** da tarefa problemática em causa, antes e depois da sua resolução efectiva — respectivamente, **COMPa** (Item 2.3.1) e **COMPd** (Item 2.7.2);
- **índice de dificuldade** antevisto e o realmente experimentado — **DIFICa** (Item 2.3.2) e **DIFICd** (Item 2.9.1);
- **grau de confiança** previsto quanto à capacidade de o problema poder ser resolvido e o realmente experimentado após a resolução — respectivamente, **CONFa** (Item 2.3.3) e **CONFd** (Item 2.9.3);
- **nível de segurança** nos assuntos com que o problema se relaciona — **SEG** (Item 2.3.4);

- **nível de atenção/concentração** na leitura do enunciado (aspecto que Flavell também relaciona com a componente "objectivos da tarefa) — **ATEN** (Item 2.7.1);

- **nível de envolvimento e empenhamento** na tarefa — **EMP** (Item 2.7.2).

Todas essas experiências tocam as fronteiras do funcionamento afectivo. Isso explica, por um lado, que aspectos como estes não tivessem sido considerados por Flavell como conhecimento propriamente dito; e, por outro (ou em consequência daquele), a nossa opção de os tratar autonomamente. Isto é, de lhes fazer corresponder um campo de análise independente, a fazer, de certa maneira, a ponte entre o campo nuclear da resolução de problemas (cognitivo-metacognitivo) e o campo afectivo.

Mas os itens que têm a ver com as experiências metacognitivas antes enunciadas não esgotam a totalidade dos que consubstanciam este questionário. Restam os itens **2.7.1** e **2.9.1**, os quais constituem uma simbiose de experiências metacognitivas com estratégias metacognitivas: respectivamente, a estratégia de revisão (**REV**) e de avaliação (**AVAL**) do procedimento mental, competências que ocupam nos modelos de Brown e Sternberg um lugar destacado.

Campo Afectivo

Dentre as variáveis afectivas que têm sido propostas (ver Trindade, 1991) como preditores plausíveis da competência dos alunos na aprendizagem das ciências e na resolução de problemas, as *atitudes* ocupam um lugar preferencial, a par com o interesse, a motivação ou o autoconceito.

Convém, por isso, reflectirmos um pouco sobre algumas facetas importantes do conceito psicológico de atitude. A maioria dos autores vê a atitude como um *construto hipotético* que tem como atributo mais saliente o seu carácter avaliativo (in Corsini, 1987). É usualmente definida como uma disposição para responder favorável ou desfavoravelmente ao estímulo proporcionado por um dado "objecto"; ou, conforme acentua Trindade (1991), "como estruturas básicas de personalidade que condicionam o que cada um de nós fará ou dirá em determinadas situações" (p. 4). A tónica na ideia de "disposição" está bem expressa na clássica definição de Vernon (citado em Nisbet e Entwistle, 1970):

> It generally implies a personality disposition or drive which determines behavior towards, or opinions and beliefs about, a certain type of person, object, situation, institution or concept. (p. 125)

Muitos fenómenos da vida afectiva não têm, como Stern (1981) assinala, "relação unívoca com as três fases do tempo — passado, presente e futuro" (p. 723). Possuem uma qualidade de "permanência", a qual pode existir apenas numa forma "disposicional". Um tipo particular de disposição seriam as "disposições direccionais", a que o mesmo autor faz corresponder duas formas essenciais: as *inclinações* e os *interesses.* A distinção essencial entre essas duas formas básicas de disposição estabelece-a o autor nos seguintes moldes:

> *Inclinação* é uma "posse" de sentimento, *interesse* é uma "procura" com participação do sentimento. (...) A inclinação pertence mais à realidade, de modo mais estático, o interesse pertence mais às possibilidades de evolução, de modo mais dinâmico. (p. 727)

O conceito de atitude aparece, em geral, mais associado às inclinações. Nessa linha, Stern fala de dois tipos principais de atitude: "atitude sentimental em relação a *pessoas* " e "atitude sentimental em relação a *campos*

de objectos " — empregando-se aqui objecto em sentido lato, isto é, podendo ter por referente um objecto material, uma pessoa (incluindo o próprio), uma instituição, um acontecimento ou até mesmo um conceito ou uma actividade (como, por exemplo, a resolução de problemas de física).

A natureza hipotética do conceito de atitude retira-lhe qualquer possibilidade de medição directa. A sua existência deverá ser, por conseguinte, inferida através da medida dos efeitos que o construto possa ter nos comportamentos ou respostas observáveis dos sujeitos. Seguindo uma classificação que remonta pelo menos a Platão (Davis e Ostrom in Corsini, 1987, p. 96), é costume identificar três categorias de respostas: afectivas (sentimentos e apreciações feitas relativamente ao objecto atitudinal), cognitivas (crenças que reflectem percepções e informações do indivíduo sobre o mesmo objecto) e volitivas, (intenções, tendências e acções comportamentais ainda para com o mesmo objecto). Apesar de as atitudes congregarem os três aspectos, a ênfase tem sido dominantemente colocada em termos da dimensão afectiva, nomeadamente na sua vertente avaliativa.

Várias têm sido, por outro lado, as teorias que têm tentado estudar a génese das atitudes. Duas delas merecem-nos neste contexto referência especial: a perspectiva que considera que os elementos básicos de uma atitude são as cognições e as crenças do indivíduo; uma outra que prefere focalizar a sua atenção para as "forças motivacionais" (valores, necessidades, motivos e disposições de personalidade) que operam no indivíduo — ao contrário da primeira, os aspectos trans-situacionais são aqui particularmente relevados .

UNIVERSIDADE DE EVORA

Privilegie-se uma perspectiva ou outra, o que nos parece inquestionável é que, sendo em termos práticos, e como já dissemos, um construto tratado na esfera do afectivo, as atitudes mobilizam, seja nas suas causas ou consequências, aspectos diversos do comportamento psicológico. Legítimo nos parece, por isso, a hipótese de que possam ter efeitos diferenciadores em actividades cognitivas e metacognitivas de resolução de problemas e em aspectos afectivos dessas actividades. Tudo em interacção numa rede sinergética e sistémica de que fácil é perder o controlo investigativo:

> Atittude, aptitude and attainment are no longer accepted as representing separate psychological dimensions; they are interrelated and so overlap each other. (Nisbet, e Entwistle, 1970, p. 76)

Dito de outro modo: o terreno das atitudes é necessariamente um dos terrenos mais escorregadios em que o investigador educacional (ou social) pode exercer a sua actividade. Isso o reforça, por exemplo, Trindade (1991), através das seguintes palavras:

> Ao nível da conceptualização, as atitudes têm-se revelado de difícil tratamento e ainda hoje se não encontrou uma definição que seja aceite genericamente pore todos os especialistas. Esta dificuldade tem, necessariamente, reflexos nas práticas educativas, uma vez que torna a comunicação pouco rigorosa, já que ninguém sabe exactamente do que o outro está a falar. (p. 20)

Não surpreende, por isso, que muitas e fundamentadas tenham sido as hipóteses de trabalho e escassa a evidência para a sua validação inequívoca. O que não significa, e isso nos parece óbvio, que das nossas palavras possa decorrer a leitura de estarmos a criticar algo que constituiu uma nossa opção consciente: o recurso às atitudes como variáveis eventualmente influentes no desempenho dos alunos na aprendizagem e na resolução de problemas de física.

Mas se é um suposto consensual as atitudes poderem funcionar como preditores explicativos de muitos comportamentos psicológicos, já o mesmo parece não suceder com os modos (quase sempre verbais) como elas se manifestam. Nem sempre têm, na verdade, sido reportadas correlações significativas entre, por exemplo, essas manifestações superficiais das atitudes e o comportamento dos alunos perante tarefas de aprendizagem ou de resolução de problemas.

Para concretizar um pouco o que dissemos, vamos recorrer a uma das mais citadas revisões de literatura relacionadas com a problemática das atitudes no campo particular do ensino-aprendizagem das ciências, revisão realizada por Schibeci em 1984. O autor, a nosso ver com pertinência, distingue *atitudes para com a ciência* de *atitudes científicas* [50]— disposições que é suposto os cientistas manifestarem ou evidenciarem no desenvolvimento da sua actividade científica.

Pensando na categoria de atitudes que aqui mais nos interessa (a primeira), aquela revisão de literatura permitiu a Schibeci chegar às seguintes conclusões:

1. Primeiro que tudo (e "infelizmente", na sua opinião), os resultados referenciados pareceram-lhe pouco animadores, colocando-se como principal entrave a ausência de um quadro teórico consistente.

2. Segundo, e no que tem a ver com a relação entre variáveis cognitivas e afectivas, os estudos parecem apontar para a existência de relação, embora fraca. Afirmando haver razões (quanto mais

[50] Ver Trindade (1991), como referência circunstanciada do estudo específico da atitude científica na sua relação com a formação e o comportamento dos professores de ciências.

não seja ideológicas) para manter a hipótese plausível da existência de relação significativa entre as duas vertentes psicológicas, e face às correlações fracas divulgadas, o autor salienta a necessidade premente da utilização, nesta área, de metodologias e instrumentação mais cuidadas e mais consistentes.

3. Terceiro, e admitindo como razoável a hipótese de que é possível provocar nos alunos mudanças significativas de atitudes favoráveis às ciências, não parece, todavia, abundarem na literatura referências a estudos em que isso se tenha verificado: seja por insuficiências metodológicas (quase ausência de estudos longitudinais de longa duração); seja por a mudança de atitude poder ser um acontecimento difícil de ocorrer, sobretudo no caso de estudos de curta duração.

Conforme assinala Gregory (in Corsini, 1987), o campo das atitudes constitui, de certo modo, um campo à parte na investigação psicológica, devido a ter fugido à tendência geral no sentido da utilização de testes padronizados. Várias são as razões para que isso tenha acontecido: primeiro, o facto de existir um "numero praticamente infinito de atitudes"; segundo, em virtude de a atitude ser um construto humano extremamente robusto, as diferentes medidas da mesma atitude intercorrelacionam-se fortemente, mesmo nos casos em que os instrumentos são construídos pelo investigador, tendo em conta a especificidade do contexto em investigação (Nisbet e Entwistle, 1970).

Foi um pouco nessa linha que decidimos construir os nossos próprios instrumentos de medição de atitudes, os quais passamos a descrever:

- um teste de atitude para com as Ciências Físico-Químicas, em que a atitude é avaliada através do grau de satisfação dos alunos relativamente a essa disciplina, designado, precisamente, de *Grau de Satisfação com as Ciências Físico-Químicas* (**SATFQ**);

- e um *Teste de Atitude para com a Resolução de Problemas de Física* (**ATRPF**).

Cada um deles é baseado numa das técnicas mais utilizadas para medir atitudes: o primeiro na técnica das *Escalas de Likert* e o segundo na técnica do *Diferencial Semântico*. Torna-se, por isso, oportuno deixar aqui algumas notas sobre essas duas técnicas.

A técnica das escalas de Likert. É talvez a técnica mais utilizada na medição de atitudes. Consiste, essencialmente, numa lista de afirmações, relativamente às quais se pede ao respondente a formulação para cada uma delas de um julgamento (de uma opinião), tendo em conta uma determinada escala gradativa hierarquizada. Têm sido utilizadas escalas com diferentes intervalos, em número par (ex., 6) ou em número ímpar (ex., 5 ou 7). Alguns autores vêem vantagem em se utilizar um número par de intervalos: torna-se, desse modo, impossível o refúgio sistemático do respondente numa categoria neutral (ponto médio da escala).

A atitude global para com o "objecto" em questão é medida com base na soma dos valores correspondentes aos pesos das respostas em cada item do teste. Para isso, é conveniente que o teste goze de razoável consistência interna, isto é, que não seja uma simples "miscelânea de itens" (Nisbet e Entwistle, 1970).

A técnica do diferencial semântico. Esta técnica, inicialmente desenvolvida por Osgood e seus colaboradores (Snider e Osgood, 1969), para investigação na psicologia do significado, acabou por ter aplicação muito mais vasta, com especial incidência na área das atitudes. Os seus autores referiram-se-lhe como um método indirecto (à semelhança, por exemplo, dos testes de inteligência), resultante, em certo sentido, de uma combinação dos procedimentos de associação de ideias e das escalas. As principais premissas lógicas que lhe estão subjacentes são assim apresentadas pelos autores (Osgood e Suci, 1969):

> The process of description or judgement can be conceived as the allocation of a concept to an experiential *continuum,* definable by a *pair of polar terms.* (...) A limited number of such continua can be used to define a *semantic space* within which the meaning of any concept can be specified. (p.43) [itálico nosso]

Implícito a essas premissas encontra-se o pressuposto de que "pensar em termos de opostos" é um fenómeno "natural na espécie humana" (Osgood, Suci e Tannenbaum, 1969, p. 78). Evidência proveniente de estudos realizados por etnolinguístas parece, na verdade, apoiar a ideia de que a oposição semântica é uma componente da maior parte se não de todos os sistemas linguísticos.

O nome "diferencial semântico" deriva da intenção que a técnica persegue: diferenciação multivariada do significado de um conceito com base numa série de escalas semânticas contínuas, cujos extremos são dois termos bipolares (inicialmente, apenas adjectivos). A diferenciação implica a localização do conceito num *espaço semântico* a três dimensões: dimensão de *avaliação* (ex., o par bom-mau), dimensão de *intensidade* ou *potência* (ex., o par forte-fraco) e dimensão de *actividade* (ex., o par rápido-lento).

Osgood recomenda que cada dimensão seja avaliada por pelo menos três escalas que tenham sido empiricamente validadas como medidas puras dessa dimensão (caso, por exemplo, da escala bom-mau). As posições assinaladas pelos sujeitos são convertidas numa *escala de 1 a 7,* correspondendo o 1 ao pólo negativo extremo e o 7 ao pólo positivo oposto.

O que do ponto de vista educacional mais interessa é a atitude de um dado aluno face a um determinado "objecto", independentemente da dimensão semântica em causa. Consequentemente, a maior parte das aplicações educacionais desta técnica desviou-se, na prática, da abordagem tridimensional clássica (Hopkins e Stanley, 1981). Utilizam-se escalas que sejam intrinsecamente relevantes para o "objecto" em questão, independentemente de corresponderem ou não a dimensões puras. Retém-se o formato, mas ignora-se o espaço semântico. O instrumento que construímos segue precisamente esta tendência. Embora tenhamos tido a preocupação de encontrar pares de termos bipolares que se distribuíssem de forma não muito heterogénea pelas três dimensões, o que sobretudo nos interessou foi a pontuação global obtida por cada aluno.

Alguns autores (ex., Hopkins e Stanley, 1981) têm-se referido bastante favoravelmente a esta técnica. Salientam, entre outros aspectos, a razoável fidelidade das suas medidas e a grande vantagem que a técnica oferece relativamente às Escalas de Likert, no que tem a ver com a facilidade de construção e de aplicação. Apesar disso, criticam a sua falta de flexibilidade e a grande ambiguidade de interpretação que lhe é inerente.

Logo na altura em que divulgaram a técnica do diferencial semântico, Osgood e seus colaboradores decidem antecipar algumas das críticas que, previsivelmente, iriam surgir. Uma delas tem a ver com o facto de a téc-

nica poder medir mais a reacção emotiva das pessoas a palavras do que propriamente o significado dos conceitos que elas representam. Consideram os autores que, se é verdade que o diferencial pode ter indexados estados representacionais não meramente linguísticos, ou seja, estados associados a sentimentos e emoções, esses não são os únicos, nem sequer os determinantes, na atribuição de significados.

É importante finalmente salientar que aquilo que não passava no início de mera suposição, isto é, a natureza métrica dos dados gerados pelo diferencial semântico, veio posteriormente a ter validação empírica por Messick (1969). Isto oferece-nos algumas garantias quanto à viabilidade de tratarmos os dados provenientes deste tipo de instrumentos com técnicas paramétricas.

Grau de Satisfação com as Ciências Físico-Químicas

É, como especificámos, um instrumento baseado na técnica das escalas de Likert, divididas, neste caso, em *seis intervalos.* O instrumento que foi submetido ao estudo piloto previa apenas cinco intervalos. Por termos constatado a antes referida concentração dos alunos no intervalo central da escala (opinião neutra), decidimos ampliar a mesma, passando-a a seis intervalos.

O teste contém um conjunto de *vinte e cinco itens,* todos eles formulados pela positiva, por forma a corresponder uma classificação de seis pontos à posição mais favorável. A versão inicial do instrumento previa, de acordo com as sugestões presentes na literatura (ex., Tuckman, 1978), itens formulados também pela negativa — nessa altura, formavam o instrumento

trinta e cinco itens. Ao analisarmos as respostas dos alunos aos pré-testes, confrontámo-nos com sistemáticas distracções no que tem a ver com esses itens de formulação negativa. Vimo-nos por isso forçados a retirá-los da análise e a considerar, por isso, uma versão menos extensa do instrumento.

Apesar das sugestões de muitos autores no que diz respeito à inclusão de itens de formulação negativa, a prática acabou por nos lançar algumas dúvidas acerca da razoabilidade dessa sugestão com alunos destas idades. Tendo sobretudo em atenção o grande esforço que o investigador necessita de desenvolver para os levar a responder aos testes com um mínimo de concentração, talvez que as perdas superem os ganhos quanto a esse ponto de vista.

No que se refere à qualidade do instrumento (versões pré e pós), a informação contemplada no Anexo 4 pode ajudar-nos a retirar algumas ilações importantes. Começamos por destacar o valor elevado (próximo do que se obtém com testes padronizados) do coeficiente de fidelidade, isso acontecendo tanto no pré-teste como no pós-teste (respectivamente, $\alpha = 0{,}91$ e $\alpha = 0{,}93$). Aliás, esse valor elevado, obtido em aplicações sucesssivas do mesmo teste, é quanto a nós uma garantia da sua consistência.

Uma vez que (Nisbet e Entwistle, 1970) um teste de atitudes baseado nas escalas de Likert deve possuir um grau razoável de consistência interna, sob pena de ser mais uma miscelânea de itens do que um teste, parece-nos lícito reivindicar que este instrumento, quanto a esse aspecto, pode ser considerado um bom teste.

No que toca a validade de conteúdo, tomamo-la como um pressuposto por duas razões fundamentais; primeiro, por confiarmos no veredicto dos juí-

zes que connosco cooperaram; segundo, porque muitos dos itens são adaptados ou inspirados em instrumentos congéneres, alguns deles já com algum suporte validativo — apesar da validade ser, neste domínio, uma questão problemática, dadas as características situacionais (e idiossincráticas) do construto em causa.

Teste de Atitude para com a Resolução de Problemas de Física

Inspirado, como dissemos, na técnica do diferencial semântico, e tendo em conta os pressupostos teóricos e metodológicos antes descritos, este teste é composto por uma série de *vinte escalas,* bipolarizadas através de pares de adjectivos semanticamente opostos.

A classificação nele obtida por um dado aluno corresponde à soma das classificações desse aluno em cada escala ou item individual, classificado, como é normal, de 1 a 7. O valor global assim derivado mede, por assim dizer, em termos operacionais, a atitude global do aluno para com a actividade de resolução de problemas de física — ou a forma como afectivamente ele se posiciona face a essa actividade.

Os indicadores de fidelidade, associados à aplicação deste instrumento às situações específicas em estudo, são os seguintes: $\alpha = 0{,}90$ no pré-teste e $\alpha = 0{,}94$ no pós teste. Também este teste de atitudes parece merecer razoável confiança no que se prende com questões de fidelidade, isto é, com a consistência do conjunto de medidas por ele proporcionadas. Por outro lado, os nossos resultados confirmam a referência de Hopkins e Stanley (1981) relativa à razoável fidelidade que habitualmente caracteriza as medidas provenientes deste tipo de teste de atitudes.

5.4

MÉTODO GERAL DE TRATAMENTO DOS DADOS QUANTITATIVOS

A Opção Básica por Técnicas Paramétricas

À excepção do *Inventário de Estilos Epistémicos,* o qual fornece dados nominais, todos os outros instrumentos precedentes geram dados a um nível intervalar ou métrico. Entrando em linha de conta exclusiva com essa qualidade dos instrumentos, não haveria dúvidas quanto ao procedimento estatístico a adoptar para tratamento dos dados quantitativos que recolhemos: a opção natural iria de imediato para técnicas paramétricas, uma vez que são, em geral, mais poderosas do que as correspondentes técnicas não-paramétricas (ou de "distribuição livre").

Acontece que, apesar de mais poderosas, as primeiras são, no entanto, mais restritivas, no que diz respeito ao seu espectro de aplicabilidade. Em situações ideais, estão sujeitas a determinadas condicionantes, derivadas dos requisitos a que devem obedecer as populações (ou distribuições amostrais) de onde são extraídas as diversas amostras de dados.

Esses requisitos são, muitas vezes, tomados pelos investigadores como pressupostos de partida. Julgamos que, em contextos educacionais, e salvo casos extremos, tais suposições não deixam de ter algum cabimento. Com efeito, em virtude de não se estar a trabalhar com ciências exactas, mas com ciências humanas, em que os instrumentos e processos de observação

e medida são necessariamente contingentes (e os erros de medição bastante incontroláveis), toda a obsessão por condições de aplicabilidade absoluta deste tipo de técnicas acaba, na nossa opinião, por se revelar um comportamento algo descabido.

Foi essa a postura que, no essencial, adoptámos. Como *estatística básica de tratamento* dos dados neste *corpus quantitativo* do trabalho, optámos pela *via paramétrica.* Mas essa opção não foi tomada apenas em função daquele tipo de suposições teóricas. Tirando partido das enormes potencialidades e facilidade de utilização do programa informático em que essencialmente nos apoiámos — o programa CSS da StatSoft para compatíveis (complementado com a aplicação Statview II para Macintosh) —, sentimos curiosidade em verificar a razoabilidade prática daquela opção.

Experimentámos, assim, na maior parte das situações em análise, as duas vias de tratamento. Pudemos concluir, com grande margem de segurança, que, em termos de decisão final, os resultados a que chegávamos eram quase sempre idênticos. Apenas em zonas de fronteira probabilística ou em zonas em que a significância era apenas marginal se verificavam diferenças pontuais. É disso exemplo a situação ilustrada no Quadro 8. Refere-se ele a uma das fases do tratamento em que se pretendia analisar a significância das diferenças entre os grupos E1 e C, no que tem a ver com mudanças por eles experimentadas na série de variáveis figuradas. Para o efeito, punha-se em confronto o teste paramétrico t de Student com o teste não paramétrico T de Wilcoxon. Pela mancha gráfica, concluímos ser a decisão final globalmente idêntica. As duas excepções verificam-se em situações do tipo anteriormente apontado.

Quadro 8

Estatística Paramétrica versus *Estatística Não-Paramétrica*

VARIÁVEL	PARAMÉTRICA *t* de Student		NÃO-PARAMÉTRICA T de Wilcoxon		DECISÃO
TRPQT	p=0,00	M. S.	p=0,00	M. S.	***IDÊNTICA***
TRPQL	p=0,00	M. S.	p=0,00	M. S.	***IDÊNTICA***
TESTM	p=0,00	M. S.	p=0,00	M. S.	***IDÊNTICA***
COMPa	p=0,33	N. S.	p=0,22	N. S.	***IDÊNTICA***
COMPd	p=0,03	S.	p=0,03	S.	***IDÊNTICA***
FACa	p=0,22	N. S.	p=0,25	N. S.	***IDÊNTICA***
FACd	p=0,30	N. S.	p=0,45	N. S.	***IDÊNTICA***
CONFa	p=0,59	N. S.	p=0,54	N. S.	***IDÊNTICA***
CONFd	p=0,15	N. S.	p=0,14	N. S.	***IDÊNTICA***
SEG	p=0,03	S.	p=0,02	S.	***IDÊNTICA***
ATEN	p=0,07	P. S.	p=0,08	P. S.	***IDÊNTICA***
REV	p=0,00	M. S.	p=0,00	M. S.	***IDÊNTICA***
EMP	p=0,08	P. S.	p=0,13	N. S.	***QUASE IDÊNT.***
AVAL	p=0,06	P. S.	p=0,05	S.	***QUASE IIDÊNT.***
SATFQ	p=0,20	N. S.	p=0,19	N. S.	***IDÊNTICA***
ATRPF	p=0,44	N. S.	p=0,70	N.S.	***IDÊNTICA***

M.S.= Muito Significativo S.= Significativo P.S.= Pouco Significativo N.S.= Não Significativo

O Modelo da Análise da Covariância como Núcleo Central da Análise das Diferenças

Não foi por acaso que, dentre os muitos exemplos possíveis, escolhemos, na situação anterior, um em que se analisam diferenças entre pré-testes e pós-testes para cada variável. Como Cook e Campbell (1979) defendem, a simples "análise de mudanças entre os pré-testes e os pós- -testes de uma dada variável é, muitas vezes, uma opção inapropriada" (p. 104). Julgamos ser essa precisamente a situação no que tem a ver com este trabalho: a qualidade dos pré-testes, tal como comprovámos, é no geral inferior à dos respectivos pós-testes. Além disso, acresce o facto de existirem diferenças, por vezes apreciáveis (mas inevitáveis), entre os domínios de conteúdos sobre que incidiram o pré-teste e o pós-teste.

Foram também razões como essas que nos levaram a optar por métodos de análise estatística em que esse óbice pudesse ser minimizado. Seria o ideal podermos dispor de métodos de análise cujo algoritmo de processamento não funcionasse em função do cálculo de diferenças *pré-teste — pós-teste*, embora garantissem que o estado inicial dos sujeitos fosse tido em conta. Verificámos, então, que o já referenciado modelo estatístico de *Análise da Covariância* (ANCOVA) cumpria esse requisito. Mas uma outra razão fundamental aconselha o recurso a esse modelo. Trata-se de ser ele o modelo de tratamento quantitativo mais adequado ao tipo de desenho de investigação a que recorremos: um desenho quase-experimental. É precisamente a justificação do que acabamos de escrever que iremos explorar nos próximos parágrafos.

Mas antes de o concretizarmos, torna-se pertinente deixar algumas breves palavras sobre um outro modelo estatístico com aquele muito relacionado

e por nós também muito utilizado: estamos a referir-nos à *Análise da Variância* (ANOVA)[51], simples ou factorial, monovariada ou multivariada.

O modelo ANOVA simples especifica *três componentes* que determinam o nível de resposta numa dada variável dependente: a *grande média* dos resultados obtidos no pós-teste por todos os sujeitos (tanto de grupos experimentais como de controlo); o *efeito da experiência* (ou simplesmente *efeito,* quando se está a pensar na ANOVA simples) que é o valor médio que a experiência acrescenta ou reduz às notas do grupo experimental no pós-teste; e o *erro* (ou *residual*) que representa os efeitos de todos os outros factores que contribuem para as diferenças entre os grupos, factores esses aleatórios, isto é, não controláveis no contexto do desenho implementado (Cook e Campbell, 1979).

A essas três componentes estão respectivamente associadas três variâncias diferentes: a *variância total,* que é a soma da *variância intergrupos* (variância devida às diferenças entre as médias dos grupos relativamente à grande média) com a *variância intragrupos* (soma das variâncias dentro de cada amostra). Esta é usualmente designada de *variância de erro* ou *termo de erro da variância* (variância não explicada pela experiência mas por outros factores parasitas ou aleatórios).

Como teste de significância das diferenças, o modelo ANOVA utiliza o TESTE *F* de Snédecor, que avalia se o quociente entre a estimativa da variância devida ao efeito da experiência e o termo erro é maior do que um. Isto porque o que realmente interessa em termos de ganhos é que a variância experimental seja obviamente superior à variância aleatória.

---

[51] Adoptamos aqui a sigla inglesa, por uma questão de hábito e consequente comodidade.

No caso da *análise da variância factorial,* faz-se intervir no modelo mais do que uma variável independente (mais do que um factor). Desse facto resulta a necessidade de se pensar numa outra fonte de variabilidade: a que tem a ver com os *efeitos da interacção* ou interacções (tantas quantas as combinações possíveis entre os factores intervenientes). Como se escreve no manual do Programa CSS (StatSoft, 1991), para além da sua potencialidade na detecção de efeitos de interacção entre variáveis independentes, uma razão acrescida para utilizar a ANOVA factorial, em vez de múltiplos estudos de dois grupos analisados via teste *t,* é que o primeiro método é mais *eficiente.* Com a ANOVA, é possível testar cada factor enquanto se controla a influência dos outros; esta é, na verdade, a razão que torna a ANOVA estatisticamente mais poderosa.

Apesar de poderoso, o modelo ANOVA tem naturais pontos fracos. Um deles deriva do facto de se assumir que o tratamento é a *única* causa de eventuais diferenças esperadas entre os desempenhos dos grupos. É evidente que quando os grupos não são formados por escolha aleatória, outras fontes de diferenças são possíveis de considerar — nomeadamente, como acontece com o nosso desenho, quando se trata de comparar grupos não equivalentes. Nesses casos, deve recorrer-se à *análise da covariância* que, em circunstâncias similares, é mais eficiente do que a análise da variância.

A ANCOVA *simples* estende as potencialidades da ANOVA elementar, através da inclusão do pré-teste no modelo, na forma de regressão linear. Usando o pré-teste (covariável na terminologia ANCOVA), torna-se possível introduzir um ajustamento que já tem em conta as diferenças iniciais assumidas como relevantes pelo investigador. Como descreve D'Hainaut (1992), procede-se a uma ANCOVA simples quando se pretendem compa-

rar várias médias (duas ou mais) de grupos autónomos, não equivalentes em relação a uma dada variável independente. Perguntamo-nos se as diferenças entre esses grupos teriam sido significativas se os mesmos fossem comparáveis em relação a essa mesma variável.

O modelo ANCOVA simples pode facilmente ser ampliado por forma a incluir várias covariáveis — quer dizer, vários factores definitórios do estado inicial. Percebemos, intuitivamente, que a inclusão de diversas covariáveis vai aumentar, em geral, a eficiência do modelo. Isso porque vai proporcionar uma melhor caracterização estatística do estado inicial e, consequentemente, uma compensação, via controlo estatístico, do controlo que não foi possível assegurar aleatoriamente.

Por outro lado, ainda que a computação passe a ser cada vez mais complexa, a *lógica* e a *natureza* das mesmas não mudam, quando se faz intervir no modelo ANCOVA mais do que uma variável dependente. Admite-se, nesse caso, a hipótese de ambas as variáveis serem conjuntamente afectadas pelos efeitos das variáveis independentes. Ter-se-á, então, uma *Análise da Covariância Multivariada* (MANCOVA) — como se pode ter uma correspondente *Análise da Variância Multivariada* (MANOVA). Como iremos constatar no próximo capítulo, esta versão do modelo foi para nós de grande utilidade na análise das diferenças entre os grupos, no conjunto de variáveis dependentes constitutivas de cada campo com que trabalhámos. Só uma técnica deste tipo poderia tornar possível essa análise compósita.

O teste de significância utilizado pelo modelo MANCOVA (e também pelo modelo MANOVA) é o *lambda* de Wilk (StatSoft, 1991), correspondente ao teste *F* para o caso de análises da variância e da covariância univaria-

das. Se este teste global (multivariado) é significativo, pode então concluir-se que é também significativo o efeito da variável independente em causa (descontados os possíveis efeitos das covariáveis) no conjunto global das variáveis dependentes. Quer dizer: depois de obter a significância na aplicação de um teste multivariado, deve-se, em geral, examinar o que acontece com os testes univariados *F* para cada variável dependente.

Em condições ideais, os modelos ANOVA e ANCOVA devem, entre outros, obedecer aos seguintes supostos de validade:

- Assume-se que cada variável dependente atinge pelo menos um nível de medição intervalar.
- Essa variável deverá ser normalmente distribuída nas populações de onde deriva cada grupo de amostras de dados; além disso, essas populações devem ser homogéneas em termos das respectivas variâncias.

Sabe-se, no entanto (ex., StatSoft, 1991; D'Hainaut, 1992) que o teste *F* e o seu correspondente teste multivariado *lambda* de Wilk são "marcadamente resistentes" aos desvios a essas condições. Por outro lado, existe uma tendência para considerar que, face às crescentes potencialidades dos programas informáticos para tratamento estatístico, os desvios relativamente às condições ideais de aplicação destes modelos são cada vez mais contornáveis.

As Variáveis: Definição Reajustada

Conforme justificámos anteriormente, a utilização do modelo ANCOVA, como via preferencial para análise das diferenças estatísticas entre os grupos, aconselha a introdução de alguns reajustamentos na designação de grande parte das variáveis intervenientes neste estudo, operacionalizadas através dos respectivos instrumentos de medida. No Quadro 9 apresentamos as variáveis (ou instrumentos) relativamente às quais julgámos pertinente apresentar esta clarificação terminológica. Não surge no quadro a variável moderadora "estilos epistémicos" que, dada a sua especificidade, terá um enquadramento que a seu tempo se justificará. Por outro lado, a variável pensamento lógico surge umas vezes apelidada de variável moderadora outras de covariável. Isso não deverá parecer estranho, uma vez que as covariáveis são, no fundo, variáveis moderadoras de tipo intervalar ou métrico — ou, como as designa D'Hainaut, "variáveis controladas".

Quadro 9

Codificação Final das Variáveis Quantitativas

	VARIÁVEIS DEPENDENTES	**COVARIÁVEIS**
CAMPO NUCEAR DA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS	TRPQTpós TESTMpós TRPQLpós TMEC10	TRPQTpré TESTMpré TRPQLpré TFIS9 TPLOG
CAMPO DA EXPERIÊNCIA METACOGNITIVA	Todos os Indicadores-pós Correspondentes a este Campo	Todos os Indicadores-pré Correspondentes a este Campo
CAMPO AFECTIVO	SATpós ATRPFpós	SATpré ATRPFpré

5.5

VERTENTE QUALITATIVA: UM COMPLEMENTO SUBSTANTIVO IMPRESCINDÍVEL

A Análise de Conteúdo como Suporte Fundamental da Investigação Qualitativa

Como diz Garcia (s.d.), "a investigação qualitativa não é [necessariamente] aquela que é levada a cabo por todos aqueles que não sabem estatística" (p. 8). Dito de outra forma: apresentámos já suficientes razões que nos levam a poder afirmar, sem equívocos, que a investigação qualitativa não tem forçosamente que ser a "parente pobre" da investigação educacional.

Para Huberman e Miles (1991), os dados qualitativos são bastante "sedutores". Permitem descrições, explicações e interpretações "ricas", solidamente cimentadas em procedimentos que, ao invés do que acontece com as abordagens quantitativas ortodoxas, respeitam a individualidade de cada situação específica, o contexto em que ela ocorre e a sua temporalidade. Além disso, esses dados tornam possível ao investigador projectar o seu pensamento para além dos horizontes confinados das hipóteses e dos quadros conceptuais e epistemológicos de partida.

A técnica fundamental de tratamento e exploração dos dados qualitativos é a *análise de conteúdo* (ou análise qualitativa), a qual incide sobre o discurso (normalmente verbal), isto é, sobre os protocolos (directos ou indirectos) produzidos pelos sujeitos investigados. Por importante que se te-

nha tornado, e por meritórios que sejam os seus resultados, o certo é que essa técnica não consegue esquivar-se a determinados constrangimentos, alguns deles a ela inerentes e, por isso, inevitáveis.

O seu problema crónico tem a ver, fundamentalmente, com a "matéria prima" com que trabalha: *palavras* (sobretudo) em alternativa a números. Como acentuam Hitchcok e Hughes (1989), as palavras são mais "densas" do que os números: possuem, em geral, significados e sentidos diversos. Isso torna-as mais difíceis de manipular e interpretar. Pior ainda, como defendem alguns autores — inspirados na corrente do que se designa por "linguística sistémica", representada, por exemplo, por de Saussure —, as palavras não adquirem sentido senão em ligação com outras palavras:

> A word or phrase does not "contain" its meaning as a bucket contains water, but has the meaning it does by being the choice, in a given context, that it is and by so excluding the choices that it might have been. (Bliss, Monk e Ogborn, 1983, p. 27)

Os números, em contrapartida, são menos ambíguos e o seu tratamento mais económico em termos de tempo e de esforço.

Exactamente porque esses problemas existem, não é muito fácil lidar com o rico mas problemático manancial de dados que a análise de conteúdo proporciona. Esse é, no entender de Bliss, Ogborn e Grize (1979), um dos motivos que levam muitos investigadores de orientação qualitativa a "limitarem os seus relatórios de investigação à transcrição de citações".

Cabe aqui deixar expresso que, por nosso lado, tentámos encontrar um ponto de equilíbrio: incluir excertos dos protocolos dos alunos, a título de ilustração, clarificação ou complemento de ideias, mas não ficar por aí. Tentar avançar para o domínio da categorização e interpretação dos dados disponíveis.

E é precisamente neste último aspecto que alguns autores (ex., Bliss, Ogborn e Grize, 1979) julgam residir o ponto fraco da análise qualitativa. Discordando daqueles que encaram a investigação qualitativa como uma "arte" de pendor essencialmente intuitivo, Huberman e Miles (1991) consideram que esse campo da investigação social necessita "desesperadamente" de métodos explícitos e sistemáticos, susceptíveis de assegurarem "um certo grau de formalização do processo de análise" (p. 33). Os mesmos autores vêem esse processo como a conjugação de "três fluxos concorrentes de actividades", não sequenciais mas interactivos e cíclicos:

- **Condensação.** Mobiliza processos de selecção, contracção, abstracção, simplificação e transformação dos dados "brutos" existentes.

- **Apresentação.** Corresponde à organização matricial, gráfica ou tabular da informação (já transformada pela actividade anterior), de modo a facilitar a extracção de conclusões.

- **Elaboração/verificação de conclusões.** Que é posta em marcha logo desde o início da recolha de dados. Desde então, o analista começa a decidir do sentido das coisas, nota regularidades, possíveis explicações, configurações e fluxos de causalidade.

Como pano de fundo a essas três actividades, isto é, como processo transversal a todas elas (com especial intensidade na primeira), funciona um mecanismo crucial em análise qualitativa e que até aqui apenas aflorámos: a *actividade de categorização* (ou codificação). De acordo com Holsti (citado em Garcia, s.d.), a categorização "é o processo por meio do qual os dados brutos são sistematicamente transformados e agregados em uni-

dades que permitem uma descrição precisa das características mais pertinentes do conteúdo" (p. 11).

É nela que mais se faz sentir a necessidade da atribuição de significados a parcelas do discurso. É ela que permite dar sentido aos dados qualitativos, implicando isso reduzir notas de campo, descrições, explicações, justificações, etc, mais ou menos prolixas, até chegar a uma quantidade de unidades significativas e manuseáveis. O sistema de categorias deve possuir duas características fundamentais:

1. Um conjunto de duas ou mais categorias significativas para o problema em estudo — que decorrem normalmente das questões investigativas, das hipóteses, conceitos-chave ou temas importantes.

2. Um conjunto de regras ou normas para associar os fenómenos estudados às várias categorias.

As *categorias* devem, além disso, ser (tanto quanto possível) *mutuamente exclusivas,* de forma a permitirem associar de um modo consistente e com a menor ambiguidade possível excertos do discurso a uma categoria e só a uma. É claro que nem sempre é possível respeitar esse requisito. A codificação é uma actividade subjectiva: o codificador interpreta o significado de acordo com o contexto e com o seu referencial cognitivo e até afectivo interno; e esse referencial pode mudar ao longo do processo de análise.

Huberman e Miles (1984) estabelecem três tipos de categorias em função da intenção do investigador ao atribuí-las:

- ***Descritivas***. Não introduzem qualquer tipo de interpretação; limitam-se simplesmente a atribuir uma classe de fenómenos ou

uma dada característica a um segmento de texto ou *unidade de significado.*

- ***Interpretativas***. Requerem do investigador algum tipo de inferência.
- ***Explicativas.*** Implicam maior dose de inferência do que as anteriores e apontam para a definição de relações causais.

A actividade de categorização implica, por outro lado, entre outras, as seguintes tarefas:

- a **decomposição** do texto original em unidades de significado;
- a **numeração** dessas mesmas unidades;
- a **classificação** das unidades de significado em função do sistema de categorias estabelecido.

A Análise de Conteúdo no Contexto do Estudo: Protocolos Escritos e Entrevistas

A metodologia qualitativa que desenvolvemos está toda ela praticamente assente nessa técnica da análise de conteúdo. Ela foi, no concreto, aplicada a dois tipos de material:

1. ao *material escrito* proveniente das respostas dos alunos às questões descritivas colocadas nos testes qualitativos;
2. ao material resultante da transcrição dos registos audiogravados de algumas *entrevistas* efectuadas.

Relativamente ao primeiro tipo de material, não faremos, por agora, quaisquer comentários, por nos parecer mais adequado fazê-lo no próximo capítulo. No que tem a ver com as entrevistas, parece-nos pertinente apresentar para já uma descrição genérica do procedimento utilizado, reservando a inclusão de referências mais específicas também para o próximo capítulo.

Procedimento geral de análise das entrevistas. As entrevistas foram realizadas imediatamente após a conclusão da intervenção ao nível da sala de aula (meados de Junho). Por solicitação dos alunos, interessados em contactar uma outra realidade escolar (a universitária), as gravações decorreram em instalações do Departamento de Pedagogia e Educação da Universidade de Évora.

Foram entrevistados 10 alunos do Grupo E1 e 9 do grupo de controlo, seleccionados por forma a garantir, na medida do possível, a representatividade, em cada grupo, tanto de alunos com progresso satisfatório, como de alunos com progressos menos satisfatórios. Realizámos também *três* entrevistas a alunos do Grupo E2; estas, dada a especificidade deste grupo, serão referenciadas apenas a título de ilustração.

Era inicialmente nossa intenção que todas as entrevistas decorressem a nível individual, com a presença única do entrevistador e do entrevistado. Após termos realizado três delas segundo esse formato, houve um aluno que insistentemente nos pediu para ser entrevistado em conjunto com um colega. Decidimos arriscar e ensaiar esse modelo. Curiosamente, logo o adoptámos, pelas seguintes razões:

- termos verificado estarem os alunos mais à vontade, com menos bloqueamentos, reservas ou inibições;
- serem, por outro lado, os diálogos mais vivos, mais diversificados e, sobretudo, mais profundos;
- ser o investigador obrigado a intervir muito menos no fornecimento de estímulos, reforços ou pistas — eram, muitas vezes, os próprios alunos a assumir agora parte desse papel.
- ter, assim, o investigador a possibilidade de se debruçar sobre muito mais aspectos, alguns deles marcados por uma espontaneidade que só a presença de um colega terá, por certo, conseguido incentivar.

É evidente que não se pode declinar a existência de alguns inconvenientes metodológicos associados a esta opção: haver, nomeadamente, influência mútua entre os elementos do par entrevistado; ou um deles assumir a liderança do processo abafando o outro — mas aí o investigador tem alguma flexibilidade de intervenção, no sentido de moderar esse tipo de comportamento e incentivar o aluno menos interveniente a formular e justificar os seus pontos de vista.

Esses inconvenientes podem reduzir a significância das inferências extraídas. Consideramos, porém, que essa é uma questão que, sendo determinante numa abordagem de tipo quantitativo, não o será tanto numa abordagem de cunho eminentemente qualitativo. Quer dizer: o que se ganha aqui em diversidade e profundidade dos diálogos compensa perfeitamente o que se perde em termos de significância dos resultados a que eles conduzem.

Cada entrevista durava em média cerca de 45 minutos, variando a duração efectiva em função do rumo que o diálogo tomava, do maior ou menor à vontade e da maior ou menor preparação dos entrevistados. Eram *entrevistas de tipo semi-estruturado.* Trata-se de uma versão de entrevista que, dada a sua flexibilidade, tende a ser o formato mais favorecido pelos investigadores educacionais. Isto por conciliar alguma profundidade com a razoável liberdade que é dada ao entrevistado para exprimir as suas ideias e replicar às questões postas pelo investigador. Optámos por essa versão pelas duas razões que em baixo se enunciam:

1. Em sintonia com a preocupação metacognitiva que perpassa por todo o nosso estudo, estávamos interessados em investigar, em intensidade e extensão, as concepções e processos de pensamento do aluno; só uma entrevista em que o aluno pudesse livremente explicitar essas concepções e processos tornaria viável esse objectivo.

2. Necessitávamos, todavia, de alguma estruturação. Primeiro, porque não concebemos um estudo virado para a consecução do objectivo anterior sem usar de alguma sistematização; segundo, porque dispúnhamos à partida de um quadro teórico orientador (representado pelo modelo de resolução de problemas cujo impacte queríamos estudar) e de algumas hipóteses de trabalho que exigiam naturalmente esse mínimo de estruturação. Como pensam Huberman e Miles (1991), "quando se sabe o que se investiga não existe nenhuma razão para não planificar previamente o modo de recolha da informação" (p. 73).

Em termos operacionais, essa mínima estruturação exigível era assegurada pelo recurso a um *guião* (Anexo 5), que representava, no fundo, o fio condutor básico da entrevista. O guião havia sido concebido por forma a facilitar não só a identificação de algumas categorias representativas dos objectivos da investigação, como também a classificação de cada entrevistado nessa categoria, de acordo com escalas de classificação apropriadas.

Para além disso, o guião previa a recolha de opiniões importantes dos alunos sobre outros aspectos da aprendizagem e da resolução de problemas de física. Não sendo direccionadas para uma categorização ortodoxa (alvo de posterior tratamento quantitativo), constituem, mesmo assim, um rico manancial, de grande validade descritiva e ilustrativa, dos sentimentos e concepções que nos alunos terão permanecido em resultado das metodologias seguidas.

Vamos agora especificar mais detalhadamente o procedimento utilizado para a condensação, categorização e classificação das respostas dos alunos. Esse procedimento teve o percurso que em baixo se descreve.

1. ***Transcrição***. Realizadas as entrevistas, procedeu-se à transcrição dos registos audio. Esta tarefa foi assegurada pelo próprio investigador, opção que, no contexto deste estudo, nos pareceu a mais apropriada. Com efeito, uma vez que as entrevistas que conduzimos não assentavam em meras questões factuais, lidavam, antes, com concepções, processos e estratégias de pensamento, o investigador mais do que ninguém estaria em posição particularmente favorável no sentido de minimizar as distorções que qualquer processo de transcrição sempre implica — distorções essas

por vezes ligadas a actos não verbais, como pausas no discurso ou acentuações exclamativas ou interrogativas.

2. ***Categorização.*** Cumprida a fase de transcrição — algo penosa e morosa —, procedeu-se, numa primeira fase, a uma leitura exaustiva e reflectida dos protocolos existentes. Pretendia-se, com isso, construir uma "perspectiva global" (Hitchcok e Hughes, 1989) do material neles contido; identificar as passagens do discurso que, pela sua relevância, adequabilidade e consistência, correspondiam, por um lado, às categorias que havíamos previsto tratar e, por outro, geravam categorias não inicialmente previstas; e, por fim, discernir essas passagens de outras que, não revelando esses qualitativos de forma tão marcante, poderiam, mesmo assim, constituir precioso material ilustrativo. Obtivemos, assim, dois tipos de material:

   - um ***corpus descritivo,*** formado por categorias de tipo descritivo ou (a maior parte) por excertos ilustrativos ou clarificadores de determinados aspectos em análise;

   - um ***corpus interpretativo,*** onde se incluem categorias interpretativas e, em algum modo, explicativas.

   Conseguido esse primeiro apuramento, essa primeira filtração do material, concentrámos a seguir a nossa atenção no *corpus interpretativo* e tentámos chegar a uma categorização mais apurada desse material. A localização das unidades de análise implicava que, por vezes, nos víssemos na necessidade de pesquisar significados em unidades sintácticas não necessariamente contíguas. Havia também, por vezes, que procurar complementar essa cate-

gorização no *corpus descritivo*. Dada a natureza semi-estruturada (e, por vezes, quase livre) das entrevistas que realizámos (sendo isso particularmente verdade no caso de entrevistas a pares de alunos), não teria sentido considerar os dois *corpus* perfeitamente estanques.

Obtida, desse modo, uma listagem provisória de categorias, voltámos a fazer passar cada uma delas por um novo apuramento, tendo não só em conta os critérios enunciados, mas também a adequabilidade das mesmas a um tratamento quantitativo, na base de técnicas não-paramétricas (prova *U* de Mann-Whitney). Gerámos, desse modo, um conjunto de categorias que enquadrámos em dois grandes domínios — domínios esses de fronteiras difusas, como defendemos no fundamento teórico:

- ***Domínio afectivo*** — relacionado com os sentimentos dos alunos face às metodologias de resolução de problemas de física na base das quais foram conduzidos.

- ***Domínio cognitivo-metacognitivo*** — compreende categorias associadas à resolução do problema já mencionado. Trata-se de um problema de dificuldade média ligeiramente superior à dos que foram utilizados no curso da experiência. Ao colocar os alunos (mesmo os do grupo experimental) perante um problema muito presumivelmente atribuível a áreas confinantes com o limite superior da sua zona de desenvolvimento próximo, pretendia o investigador ter a possibilidade de investigar mais a fundo os seus bloqueamentos. É verdade que se corria o risco de esses

bloqueamentos poderem ser quase totais. No entanto, dado que a tarefa era realizada sob estímulo do investigador (o entrevistador reagia às dificuldades ou impasses do entrevistado) essa possibilidade surgia minimizada.

Como última fase do processo, as respostas e argumentações de cada entrevistado eram, uma vez identificadas as categorias que as tipificavam, classificadas em função de uma escala hierarquizada. Tal hierarquização permitia tratar os dados desse modo obtidos a um nível pelo menos ordinal. Informações complementares e uma descrição mais fina das interpretações derivadas das entrevistas serão fornecidas no capítulo que se segue.

RESULTADOS: ESTADOS E MUDANÇAS

6

6.1

O ESTADO DE PARTIDA

Como fizemos notar no capítulo precedente, a constituição dos grupos intervenientes na pesquisa não pôde ser realizada aleatoriamente. Isso nos levou a categorizar o desenho investigativo a que recorremos como um desenho quase-experimental. Embora muito usado no contexto educacional, esse desenho apresenta algumas insuficiências, entre elas se contando o facto de não permitir controlar devidamente eventuais efeitos de factores parasitas e aleatórios presentes no estado inicial.

Explicámos também que a técnica estatística básica que utilizámos para análise da significância das diferenças entre os grupos experimentais e o de controlo (a análise da covariância) permite compensar estatisticamente aquelas insuficiências. Isso porque o que essencialmente essa técnica faz é comparar os estados finais atingidos pelos grupos (configurados nos resultados dos pós-testes das variáveis dependentes), tendo em conta as posições relativas verificadas à partida; isto é, entrando em consideração com o estado inicial (configurado nos valores das covariáveis, ou seja, das "variáveis independentes controladas").

Apesar dessa potencialidade estatística da análise da covariância, afigurou-se-nos útil e esclarecedor traçar um retrato, de certo modo exaustivo, desse mesmo estado inicial, tendo em vista não só os dados provenientes da vertente quantitativa do estudo, mas também aqueles que derivámos no âmbito da vertente qualitativa. Essa decisão possibilitou-nos algumas ila-

diluídas num processamento massificado, dirigido exclusivamente para a caracterização quantitativa das diferenças.

Coerentes com a tese recorrentemente afirmada de que o conhecimento qualitativo (a "física qualitativa") é um pré-requisito necessário e substantivo para a resolução de problemas de física (quantitativos e qualitativos), iniciaremos a tarefa a que nos propusemos, apresentando uma radiografia global dos sistemas de construtos possuídos pelos alunos no início da intervenção e associados a conceitos e concepções que gravitam em torno da relação força-movimento. Só depois de cumprida essa tarefa, avançaremos para tarefa idêntica, relacionada, desta vez, com o retrato da situação de partida no que toca a aspectos mais de natureza quantitativa.

Radiografia Inicial dos Sistemas de Construtos Pessoais Associados ao Binómio Força-Movimento

Para dar consecução ao objectivo a que este ponto se reporta, tomámos como base as respostas descritivas dos alunos à versão-pré do *Teste de Resolução de Problemas Qualitativos de Física.* Fizemos incidir sobre esse material escrito uma análise de conteúdo exaustiva, efectuada de acordo com os cânones discutidos no capítulo anterior. A nossa postura era aqui de natureza essencialmente indutiva, uma vez que não dispúnhamos de qualquer sistema de categorias prefigurado. Interessava-nos, sobretudo, identificar concepções, caracterizar construtos pessoais, independentemente de juízos pré-estabelecidos.

identificar concepções, caracterizar construtos pessoais, independentemente de juízos pré-estabelecidos.

Pensamos, desse modo, ter chegado a um complexo de categorias conceptuais que consubstanciam concepções marcadas por alguma especificidade, isto é, transportando consigo o selo das idiossincrasias dos alunos (daqueles alunos) com que trabalhámos. Mas não foi por acaso que escrevemos "alguma especificidade". Com efeito, em termos genéricos (e pese embora os cambiantes situacionais), tais categorias são concordantes com o que a prolixa literatura em concepções alternativas, no âmbito da relação força-movimento, tem divulgado. Essa concordância é perfeitamente justificada. Primeiro, porque estamos a lidar com concepções espontâneas bastante típicas do domínio em causa (a mecânica); segundo, porque as tarefas-estímulo a que recorremos são, em grande parte, idênticas às que têm habitualmente sido utilizadas e referenciadas na literatura.

Avançando aqui um pouco para uma certa autocrítica, dir-se-ia estarmos, nesta faceta do nosso estudo, a investigar algo que à partida já conhecíamos. É todavia nossa convicção que, ainda assim, valeu a pena fazê-lo: por um lado, porque tivemos a oportunidade de realizar um esforço metacognitivo de análise, na tentativa de compreender e de criar empatia com a real diversidade de construções mentais que cada aluno (cada indivíduo) é capaz de construir, na sua tentativa de dar sentido e se adaptar à realidade em que vive; por outro lado, porque os cambiantes específicos de que antes falávamos são só por si significativos e representativos para concluirmos que, quanto mais não fosse para melhor conhecer os alunos (cada aluno) com que trabalhávamos, a tarefa aqui em questão teria na realidade valido a pena.

Esboçada esta nota prévia, resta-nos apresentar e descrever as categorias que nos pareceram mais relevantes. Na sua descrição serão apresentados excertos textuais do discurso argumentativo dos alunos. Nos casos em que nos pareceu ser de enfatizar determinada parcela desse discurso, decidimos utilizar o símbolo [!]. Por outro lado, a organização das categorias é feita de acordo com a codificação da questão a que cada uma se reporta no teste simbolizado por TRPQLpré. Apesar de este teste aparecer em anexo na sua totalidade, reproduzimos também aqui as questões que o constituem, para maior facilidade de interpretação das categorias a elas referentes.

Questão 1

O carro da figura ficou atolado em areia. O dono, depois de o ter destravado e de ter desligado o motor, tenta desatolá-lo, sem o conseguir. Estará o carro submetido a alguma **força resultante** (força global) diferente de zero?



• **O aluno projecta uma concepção espontânea de força resultante.** A expressão força resultante assumia para os alunos significações as mais diversas. Muito popular parecia ser a tendência de a força resultante ser identificada com as forças individuais (explicitadas ou não na sua totalidade):

> Sim, [actuam] as duas forças que dificultam o *movimento do carro* [!], a força de gravidade que o torna pesado e a força que a areia exerce sobre ele.

Porque se ele estivesse submetido a uma força resultante igual a zero o carro andava. [*O aluno está possivelmente a identificar força resultante com força de atrito.*]

Sim, o carro está submetido a *várias* [!] forças, isto é, está submetido ao peso do carro, à força de atrito e à força da Terra sobre o carro.

Para este aluno, peso do carro e acção da Terra sobre ele são entidades físicas autónomas, aparentemente não relacionadas. Esta ideia teve muitos adeptos no conjunto de alunos alvo do estudo qualitativo. Parece-nos resultar essa confusão, pelo menos em parte, da distinção prematura que, na física do 9.º ano, o programa oficial, os professores e os autores dos manuais pretendem, em geral, estabelecer entre peso e força gravítica. Tal distinção — precoce para a maioria dos alunos — acaba por revelar-se contraproducente.

Pode também acontecer que o aluno descodifique a designação "força resultante", fazendo-a corresponder à soma das intensidades das forças individuais. Isto é, que entenda a composição de grandezas vectoriais como se de grandezas escalares se tratasse:

É diferente de zero porque vão existir mais do que uma força, logo a soma das forças terá que ser diferente de zero [*presume-se que o aluno quer dizer "soma das intensidades das forças"*].

Não nos admira que tal aconteça. Com efeito, esse é reconhecidamente considerado um dos pontos que na introdução à mecânica mais obstáculos coloca à aprendizagem. Por experiência própria, estamos muito bem lembrados de quão difícil se nos revelou explicar aos alunos que a adição vectorial é uma operação em que, digamos, " 2+2 não é necessariamente igual a 4". Mesmo após treino intensivo — com fichas de trabalho adequadas (Anexo 1) — muitos alunos continuavam a evidenciar enormes insuficiências nesse assunto. Ilustrativa é, também, a seguinte argumentação:

> Sim [a resultante é diferente de zero] porque a areia também faz força, como o homem também empurra vai existir uma força resultante diferente de zero. O atrito faz força. Ele não consegue desatolá-lo porque a força gravítica faz força para baixo, o atrito para cima e o homem para a frente. O que faz mais força é a força gravítica.

A linguagem utilizada, particularmente o recurso frequente à expressão "faz força", corresponde a um discurso típico de uma concepção vulgar de força: acção de empurrar ou puxar, isto é, algo que implica esforço físico e contacto directo entre corpos.

• O aluno encara a força resultante como a composição de forças individuais, mas não tem a percepção de que o estado de repouso implica resultante nula.

> As forças *não* [!] se compensam mutuamente, por isso a força resultante é diferente de zero, a força exercida pelo carro é maior do que a exercida pelo dono.

Para além de não dominar uma das leis básicas da mecânica (a lei da inércia), esta resposta ilustra bem a reconhecida dificuldade de os alunos abstraírem o sistema físico em estudo da sua vizinhança. Neste caso, o sistema em foco seria o carro. Só interessavam, por isso, para o respectivo estudo, as forças nele aplicadas. Nesse sentido, a força exercida pelo carro no dono não seria de considerar. Algo de semelhante transparece da seguinte passagem:

> Sim, é diferente de zero porque a força que o carro exerce sobre a areia faz com que este não se consiga desatolar. [*O estado dinâmico do carro é explicado por uma força aplicada na areia.*]

Vemos aqui o reflexo do comportamento habitual de muitos professores de física e de muitos manuais. Ignorando ou depreciando as exigências que a noção de sistema implica, a nível de pensamento abstracto — muitas

vezes, os sistemas físicos nem sequer têm fronteira material — e, ao mesmo tempo, a importância decisiva da sua compreensão, sistematicamente pouca relevância lhe conferem. Chega-se, por exemplo, a discutir com os alunos situações de equilíbrio ou transferências de energia sem que o sistema em questão tenha sido previamente definido e explicitado. A noção de sistema é, não temos dúvida em afirmá-lo, uma das noções que necessita de ter por parte dos professores um tratamento didáctico muito mais cuidado.

Mas se nas situações anteriores os alunos tendiam (correctamente) a considerar que a compensação de duas forças só se verifica se elas forem directamente opostas, houve outros que estenderam tal compensação ao caso de forças perpendiculares. Não se vislumbra aqui o mínimo sinal de que o aluno tenha uma ideia (parcial que seja) da regra de composição de forças não colineares:

> Sim, [a resultante é diferente de zero porque] o carro está submetido à força do homem, mas esta não chega para fazer mover o carro. *O carro está submetido à força da gravidade* que faz o carro atolar-se na areia o *que vai anular ainda mais a força do homem* [!].

• O aluno encara a força resultante como a composição de forças individuais e tem a percepção de que o estado de repouso implica resultante nula (concepção científica ou quase-científica).

> *As forças* que actuam sobre o carro [em repouso] *compensam-se mutuamente* [!].
>
> *A força resultante é nula devido a nem o carro nem o homem se mechem* [sic] e por isso as forças anulam-se, o que vai originar uma força resultante nula por isso igual a zero e não diferente de zero.

Devido à *força de atrito* ser *igual à força aplicada pelo dono do carro.* Assim, *este não se desloca* [!].

Da resposta anterior parece emergir a convicção de que o estado de repouso implica o anulamento de forças directamente opostas. Ao ter escolhido a opção "igual a zero", a uma pergunta formulada em termos de resultante, e ter a seguir justificado em termos de forças opostas que se combinam, o aluno parece indiciar que o conceito de força resultante se encontra nele pelo menos em construção. A resposta apenas omite um outro par de forças: o peso e a reacção normal. Esta força é quase sistematicamente ignorada pelos alunos, facto que só por si é um sinal do escasso apelo que a mesma lhes suscita.

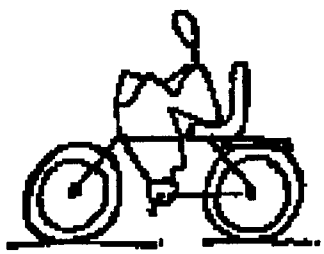
• O estado de repouso só é, para o aluno, compatível com a não existência de forças aplicadas (concepção espontânea bastante típica).

Não porque *se estivesse a ser submetido com forças diferentes de zero o carro teria algum movimento* [!].

Esta argumentação é bastante curiosa. Pela resposta que dá inicialmente ("não"), este aluno aparenta dominar a implicação formal que cientificamente é estabelecida entre estado de repouso e anulamento da força resultante. O facto de se exprimir no plural ("forças diferentes de zero") e o conteúdo da sua resposta parecem denunciar, todavia, uma concepção espontânea bastante frequente: *se um corpo está em repouso é porque sobre ele não actuam forças* (quaisquer forças).

Questão 2

O ciclista da figura ao lado não se encontra a pedalar nem a travar; vai, apenas, "perdendo" velocidade. Enquanto isso acontece, a bicicleta estará a ser actuada por **alguma(s) força(s)**?



• A perda de velocidade de um corpo é um acontecimento que não necessita de explicação causal em termos de forças.

> Não está a actuar sobre ela nenhuma força porque *a bicicleta* já foi submetida a uma força e agora *está apenas a deslizar* [!].
>
> Não, porque o ciclista tem pedalado e quando deixa de pedalar, se não trava, a bicicleta mantém-se na mesma em movimento, porque já lhe foi *dada* [!] uma força.

Em nenhuma das respostas anteriores é sentida a necessidade de recorrer a forças contrárias ao sentido do movimento (neste caso ao atrito entre as rodas da bicicleta e a estrada) para explicar a diminuição de velocidade. Essa diminuição é, nessas circunstâncias, um facto natural que não necessita de explicação: é assim porque é assim.

Por outro lado, para o autor da segunda afirmação, as forças parecem ser algo que se dá, se comunica e se transfere, ficando armazenadas nos corpos. Trata-se de uma concepção espontânea caracterizada pela sua popularidade e forte solidez cognitiva: força como algo parecido à noção medieval de *impetus*. Como variante desta categoria, encontrámos também a ideia intuitiva de que o efeito de uma força no movimento de um corpo vai sempre no sentido de lhe produzir aumento de velocidade:

Como não há nenhuma força a actuar sobre a bicicleta ela vai "perdendo" velocidade. *Se tivesse alguma força a actuar ela em vez de "perder" velocidade ela ia "ganhando" velocidade* [!].

• A perda de velocidade de um corpo deve-se à existência de forças formais de sentido contrário ao do movimento (explicação científica ou quase-científica).

Se vai perdendo velocidade [a bicicleta] *tem de estar* [!] a ser actuada por uma força (ar da atmosfera e superfície terrestre) [*o aluno refere-se presumivelmente à força de resistência do ar e ao atrito com o solo*], porque se não a bicicleta não perderia velocidade e andaria indefinidamente à mesma velocidade.

Este aluno é peremptório na sua argumentação, ao afirmar que se o carro perde velocidade "tem de estar" a ser actuado por alguma força. Aparenta possuir a ideia científica de que para haver mudança de velocidade tem de haver forças ou que as forças são responsáveis pela mudança de velocidade dos corpos (pela sua aceleração). Provavelmente, o mesmo aluno estará já a desenvolver o significado da lei da inércia. No conjunto dos alunos intervenientes no estudo, este tipo de afirmação tão categórica constitui, contudo, a excepção. A lei da inércia, mau grado a aparente simplicidade de alguns dos seus enunciados, acaba por ser fortemente contra-intuitiva, impondo por isso impedimentos de aprendizagem por vezes insuspeitados:

A bicicleta está submetida à força de atrito, que a "obriga" cada vez mais a parar, porque não há uma força para a contrariar, de modo a que a bicicleta continue a andar *até que ela queira* [!].

Sim, a bicicleta está a ser actuada pela *força de atrito da estrada* [!] porque se a força de atrito não existisse, a bicicleta não estaria a perder velocidade, porque não haveria nenhuma força para provocar essa perda, e a sua velocidade seria constante.

Note-se como o aluno parece pretender localizar as forças, ou associar-lhes uma acção unilateral. Para ele (e aí não estará só), a "força de atrito [é!] da estrada" e não o resultado da interacção (da acção bilateral) entre a estrada e a bicicleta. A ideia de força como interacção, ou seja, a mensagem fundamental da 3.ª lei de Newton, encontrava-se sistematicamente ausente na maioria das respostas analisadas. O aluno que se segue é, a esse respeito, ainda mais categórico:

> A força de atrito *encontra-se no chão e nos rolamentos* [!]. Também *existe força da gravidade que puxa para baixo devido ao peso* e portanto diminui a velocidade.

Observe-se, além disso, a forma como o aluno fala de peso e força da gravidade. Diferencia esses dois conceitos — como seria correcto cientificamente —, mas não lhes parece conferir o mesmo estatuto: o peso é visto como uma "pressão" sobre a superfície de apoio e não necessariamente como uma força. Ao pensar assim, o aluno troca o efeito pela causa: um corpo sofre a acção da gravidade porque tem peso e não o contrário.

- **A perda de velocidade de um corpo deve-se à diminuição gradual de forças acumuladas no corpo.**

> Sim, porque apesar de o ciclista não *dar* [!] força à bicicleta, ela está a *gastar* [!] *a força acumulada* [!].

A passagem anterior reflecte uma concepção de força como espécie de combustível, isto é, algo que se "acumula", se "dá" ou se "gasta". Vejam-se outros verbos similares ("transmitir", "fornecer", "emitir", etc.) que denotam o mesmo tipo de concepção:

A bicicleta está sujeita à força que o ciclista lhe *transmitiu* [!] até ter deixado de pedalar.

A bicicleta está em movimento porque um pouco antes o ciclista lhe tinha *fornecido* [!] uma força, por isso ela vai com balanço.

A bicicleta está a ser actuada pela força que o ciclista lhe *emitiu* [!] logo de início.

• **O aluno não concebe movimento sem forças aplicadas.** Encontram-se claramente em confronto nesta categoria a concepção espontânea do aluno e a concepção científica. Para a primeira, todo o estado de movimento exige uma explicação causal. Essa causalidade tem por trás o recurso a "forças"; mas pode também acontecer ser ela explicada pelo recurso a entidades como a energia (cinética) ou outras quaisquer identidades inerentes ao movimento, não necessariamente apelidadas de força pelos alunos.

Por outras palavras: este tipo de concepção espontânea leva ao estabelecimento de uma implicação lógica formal e universal entre estado de movimento e existência de forças aplicadas. A concepção científica rejeita, como sabemos, tal universalidade, ao prever a possibilidade de ocorrência de um tipo de movimento (o movimento rectilíneo e uniforme) mesmo na ausência de forças (ou, o que é equivalente, em casos de sistemas de forças de resultante nula).

Discutamos, então, alguns excertos que tipificam esse tipo de concepção espontânea:

Sim [a bicicleta encontra-se actuada por forças] porque, apesar de o ciclista não estar a pedalar nem a travar, a bicicleta continua a andar, *precisando* [!] para isso ser actuada por uma força.

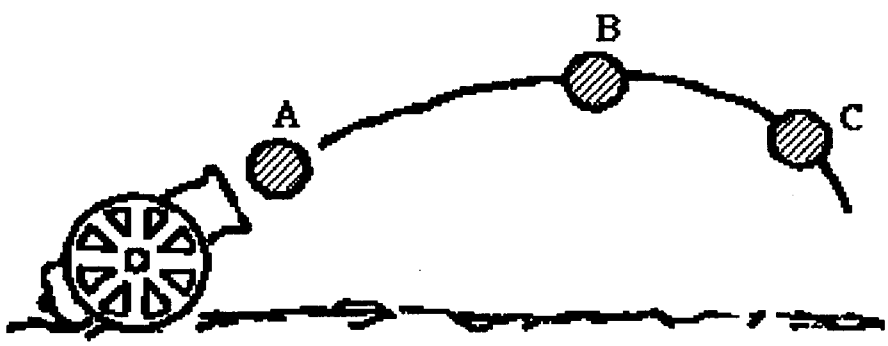
A bicicleta encontra-se sujeita à *força cinética* [!] que a faz movimentar e à resistência que o ar exerce que a trava.

Qualquer das afirmações anteriores (nomeadamente o termo "precisando" e a expressão "força cinética") são, na verdade, bons indicadores explícitos daquela concepção. Também a passagem que se segue constitui uma evidência bastante ilustrativa. Para o seu autor, apesar de a bicicleta ir a "perder força" (diminuir de velocidade), continua a "andar"; continuando a "andar", há forçosamente que existir uma força a tornar possível o acontecimento:

Sim porque o ciclista não vai a pedalar nem a travar e a bicicleta *vai perdendo força mas vai a andar* [!]. [*Para o aluno o facto de a bicicleta ir "a andar" é só por si condição necessária e suficiente para que exista força.*]

Questão 3

Um canhão muito potente dispara uma bala; os pontos **A**, **B** e **C** correspondem a três posições sucessivas da trajectória dessa bala. **Representa** na figura **a(s) força(s) que actua(m)** na bala em cada uma dessas posições.



• **Para haver movimento, tem de existir uma força na direcção e sentido em que ele se processa.** Nesta categoria, e conforme a si-

tuação, o aluno não concebe a ocorrência de movimento de um corpo — seja ele uniforme, acelerado ou retardado, por um lado, e rectilíneo ou curvilíneo, por outro — sem que, aplicada ao corpo, exista uma força na direcção e sentido do movimento (ou actuando de maneira a, pelo menos, auxiliar o movimento). Consoante as necessidades do aluno quanto à génese dessa força, pudemos discernir três variantes dessa categoria:

1. Uma em que o aluno recorre apenas a forças reais. É, por exemplo, o caso da queda livre de um corpo: a força da gravidade (o peso ou até ambos) vai, por razões óbvias, ao encontro das necessidades explicativas do aluno.

2. Outra em que o aluno é forçado a recorrer a forças por ele imaginadas. As forças reais que nessa situação consegue identificar não preenchem os requisitos por ele julgados necessários para que possa existir movimento. É o caso da ascensão livre de um corpo na atmosfera. Aí, a força gravítica (o peso ou ambos) não consegue, na opinião do aluno, justificar a existência de um movimento ascensional. O aluno sente, assim, a necessidade de "criar" uma força no sentido do movimento, força essa por ele muitas vezes chamada de "força do movimento" ou "força cinética". A *força do movimento* tanto pode ter sido previamente "depositada" no corpo, como pode ser uma força intrínseca (espécie de motor ou força motriz que os corpos em movimento possuem). A primeira concepção é a mais frequente por ser aquela que encontra um suporte "material" mais evidente (o "combustível que se deposita").

3. Uma terceira variante que é, no fundo, uma mistura das anteriores. Situações existem, inclusivamente, em que o aluno, conforme as necessidades, alterna entre uma ou outra das versões precedentes. Aqui os alunos — e quem diz os alunos diz o senso comum, em geral — adoptam uma posição que, sendo lógica e imaginativa, tem também muito de pragmático.

A questão aqui em causa, associada ao lançamento de um projéctil, ou seja, a um movimento curvilíneo, é bastante adequada para ilustrar esta categoria de conhecimento espontâneo — ou, espontâneo-científico como é o caso dos grupos com que trabalhámos, compostos por alunos já com alguma escolarização (não muito bem sucedida, é certo) na temática científica em causa. Vamos, pois, apresentar excertos particularmente ilustrativos de alguns dos cambiantes que a referida concepção pode tomar:

> A bala é atirada pela *força da explosão* [!]. No ponto B a bala desloca-se com uma certa velocidade devida à força que foi *depositada* [!] nela. No ponto C vai perdendo força e começa a descer.

Este aluno, ao mesmo tempo que formulava aquele tipo de argumentação, representava as forças a que se referia por "vectores curvilíneos", os quais acompanhavam a trajectória do corpo. Trata-se de uma situação pouco referenciada na literatura, mas que é bastante pertinente neste contexto. Representa, em nosso entender, o refinamento máximo da concepção espontânea que estamos a analisar: a necessidade de encontrar uma força intimamente associada ao movimento leva o aluno ao ponto de transformar um segmento de recta orientado (um vector) num "arco orientado", para melhor garantir o ajustamento, instante a instante, daquela força à trajectória desse movimento.

Observe-se, por outro lado, como o aluno constrói a sua explicação. Começa por se referir à "força da explosão" — "explosão" é, aliás, um termo e um acontecimento perfeitamente compatíveis com a ideia intuitiva de que as forças são pertença de um corpo e não algo que caracteriza biunivocamente a interacção dele com outros corpos. Depois, seguindo uma lógica perfeita, afirma que essa força fica depositada no corpo. Desse modo, consegue justificar a subida do corpo, quando a sua tendência seria a de cair. Até chegar ao ponto de altura máxima, o aluno sabe também que a bola perde velocidade. Faz corresponder a esse fenómeno "uma perda de força", em consonância com a sua ideia de força como espécie de combustível. A partir daí, há que explicar a queda do corpo. Levado pelo pragmatismo a que antes nos referíamos, o aluno deixa de sentir a necessidade de recorrer a forças como explicação do acontecimento: para ele, a queda dos corpos é um acontecimento perfeitamente natural. Para quê, então, inventar causas (forças) escusadas?

Outros alunos seguem uma ligeira variante daquela explicação. Ao chegar ao ponto de altura máxima, o corpo ainda não perdeu "toda a sua força". O que acontece é que "chega lá já com muito pouca força". Inicia a descida com "a pouca força que lhe resta" e, a certa altura, praticamente "desfalecido", "vai para o chão":

> A bala quando é disparada *sai com força* [!]. Quando chega ao ponto B a bala *ainda tem força* [!] para seguir mais um bocado. A bala *chega ao ponto C com pouca força e vai para o chão* [!].

Tudo se passa como se houvesse algo imanente ao corpo (força) que lhe possibilitasse subtrair-se à queda. Quando tal imanência enfraquece significativamente, o corpo não tem outra alternativa a não ser a de cair. É uma coisa natural, uma espécie de fatalismo a que os corpos estão sujeitos

— ou melhor, alguns corpos (os corpos "pesados"), como adiante discutiremos.

Quando na literatura sobre concepções alternativas se generaliza, afirmando que a ideia dos alunos vai no sentido de associar força a velocidade (sempre que existe velocidade terá de existir força), a concepção anterior prova que isso não se passa tanto assim. As generalizações (ou categorizações), num campo que mexe com idiossincrasias e individualidades, devem ser concebidas como instrumentos sistematizadores e não como indicadores do real funcionamento cognitivo dos indivíduos em geral. É essa a função primordial que atribuímos às categorias de análise que aqui temos vindo a descrever.

• **Os alunos fornecem uma multiplicidade de explicações para o movimento de um projéctil.** Face à grande diversidade (já esperada) de explicações fornecidas pelos alunos para justificar o movimento curvilíneo a que se reporta a Questão 3, julgámos conveniente considerar, por necessidade de sistematização, três importantes versões.

1. ***O movimento é explicado com base numa única força, a "força do movimento".*** Nesta categoria de argumentações, a força do movimento tem, em geral, a direcção e sentido do movimento — chega a ser, como vimos, representada por "vectores curvilíneos". Detectámos, porém, algumas respostas em que isso pode não acontecer. É esse, por exemplo, o caso da resposta que se segue:

> No ponto A, o corpo vai subir [*o aluno representa uma força vertical de sentido ascendente*]. Depois no ponto B vai atingir um plano quase hori-

zontal [*coerentemente o aluno traça um vector horizontal com sentido para a direita*]. E em C vai descer, portanto vai cair e atinge um plano vertical [*e o aluno traça um vector de direcção vertical e de sentido descendente*].

Tudo se passa como se a *força do movimento* fosse associada por aquele aluno não à trajectória em si mas ao plano (vertical ou horizontal) em que o corpo se desloca e ao sentido em que o faz. A essência da concepção é, todavia, a mesma.

2. ***O movimento é explicado com base na "força do movimento" e noutras forças reais ou intuitivas.*** Um dos alunos, ao representar vectorialmente as forças aplicadas no projéctil, desenha três vectores diferentes: um tangente à trajectória e no sentido do movimento (a "força do movimento"); outro vertical, com sentido descendente (possivelmente o peso do corpo); e um terceiro, horizontal e de sentido para a direita (aluno não explicitava o significado deste vector).

   A título meramente especulativo, é de admitir que a referência a uma força horizontal e a uma força vertical possa constituir uma pré-concepção do modo como um movimento curvilíneo pode ser cientificamente explicado. Qualquer movimento curvilíneo planar pode, na verdade, ser concebido como formalmente equivalente à composição de dois movimentos rectilíneos perpendiculares. Essa operação, realizada a um nível de abstracção relativamente elevado, é bastante útil e frequente em vários domínios da física. Talvez não seja por acaso que o aluno responsável por aquela proposta seja um dos alunos que revelaram maior intuição

e aptidão para a física. Observe-se esta outra proposta justificativa:

> Em A actua a força da gravidade que tende a fazer baixar a bola, a força de impulso do canhão que a impele para a frente para a fazer deslocar a grande distância e a força de atrito devido à oposição do ar. Em B, a força que impele a bola diminui devido à perca de energia, continuam a força da gravidade (um pouco menor devido à maior altura) e a força de atrito (também um pouco menor devido à menor velocidade). Finalmente, no ponto C, *dá-se a diminuição da força impulsora* devido à maior perca de energia e *assim a força de gravidade começa a aumentar sobrepondo-se às outras devido à diminuição das outras* [!] e ao abaixamento da bola.

O aluno está de posse de algum conhecimento formal, nomeadamente o que tem a ver com as forças da gravidade e da resistência do ar. Apesar disso, não consegue furtar-se ao apelo da *força do movimento* ("força que impele a bola"). Pondo de lado algumas aparentes contradições, é de notar a ideia do aluno quanto a um aumento em C da força de gravidade: aumenta devido ao abaixamento, o que é verdade em termos absolutos, mas não significativo em termos relativos; mas aumenta, também, por as outras terem então diminuído de intensidade. Como que a acção gravítica sobre o corpo estava impedida de se actualizar, na sua máxima plenitude, devido à oposição de outras forças que com ela competiam. Por nos parecer interessante esta concepção, e por ser ela pouco referenciada na literatura, damos-lhe algum realce, incluindo-a num caso particular desta versão.

Caso Particular. *A força do movimento pode, juntamente com outras forças, abafar os efeitos da gravidade sobre o projéctil:*

> A bala sofre o impulso do canhão e ao sair do canhão o impulso é tão grande que *só sofre uma força* [!] que é a de ser projectada para a frente e para cima . Em B a bala já está submetida a duas forças, que é *ainda a força de ser projectada pelo canhão* [!] e a força gravítica. Em C, a bala já *perdeu o impulso dado pelo canhão, estando assim só submetida a uma força que é a da gravidade* [!].

A expressão "só sofre uma força" parece-nos esclarecedora. Com ela, o aluno deverá querer transmitir a convicção de que, pelo facto de o impulso do canhão ser inicialmente tão elevado, tudo o resto (todas as possíveis forças) se tornam irrelevantes e desprezáveis. O aluno só sente necessidade de recorrer à força gravítica em C, altura em que "a força de ser projectada pelo canhão" já não a consegue dominar. No mesmo sentido, vai a seguinte argumentação:

> Em B a bala já perdeu um pouco da sua velocidade e *existe agora a força da gravidade* [!] a fazer força para baixo, mas *devido à sua velocidade essa força é mínima* [!]. Em C *existe a força gravítica* a actuar predominantemente *devido à velocidade da bala ter descido consideravelmente* [!].

A partícula "agora" revela que para o aluno é apenas em B que a força da gravidade se começa a fazer sentir; mas, "devido à velocidade" ser ainda elevada, "essa força é mínima". Só em C, e "devido à velocidade da bala ter descido consideravelmente", é que a força gravítica passa a ser significativa.

3. ***A "força do movimento" não intervém na explicação desse mesmo movimento.*** Trata-se de uma explicação científica ou quase-científica, construída com base na intervenção da força da gravidade, associada ou não a outras forças. Essas podem ter legitimidade científica ou não. A transcrição que se apresenta é um exemplo da primeira hipótese:

> Em A actua *apenas* [!] a força gravitacional; em B *ainda só* [!] actua a força gravitacional que é *maior* [!] do que em A; em C *ainda é só* [!] a força da gravidade que se exerce e ela é *menor* [!] do que em B mas é maior do que em A.

É uma resposta quase-científica porque, embora refira a única força real a ter em conta (já que a impulsão e a resistência exercidas pelo ar são, neste caso, desprezáveis), incorre numa concepção de senso comum frequente. Tem ela a ver com a ideia de que o efeito gravítico aumenta com a altura sobre o solo — discutiremos essa concepção mais em pormenor na Questão 4. A representação vectorial do aluno é coerente com a ideia veiculada: em cada um dos pontos considerados, o aluno traça sempre um só vector, vector esse vertical, de sentido descendente e de módulo relativo compatível com as afirmações proferidas.

Um *caso particular* desta versão (muito frequente) é aquele em que na argumentação dos alunos (e nas representações vectoriais correspondentes) coexistem força gravitacional e peso:

> Em A é onde a força de impulsão dada pelo canhão perde o efeito. O peso da bala e a força gravítica influenciam a bala. Apesar de a força de impulsão dada pelo canhão perder o efeito em A anima a bala dando-lhe uma força suficiente para se elevar. Em B, é onde a animação derivante da impulsão desaparece. *A gravidade e o peso têm influência. O peso*

sensivelmente mais e a gravidade sensivelmente menos [!]. Em C, é praticamente o ponto terminal. É onde a impulsão é nula e a animação dela derivante também. *Apenas o peso e a gravidade têm influência.* [!].

Dispensamo-nos de comentar as passagens por nós sublinhadas. O discurso do aluno é bem claro quanto a considerar peso e força da gravidade como duas forças totalmente autónomas.

Questão 4

O efeito gravítico da Terra sobre um corpo é tanto mais forte quanto mais alto o corpo se encontrar; prova-o o facto de os corpos que caem de alturas mais elevadas provocarem mais danos no solo do que os que caem de alturas menos elevadas.

☐ Verdadeiro ☐ Falso

Começaremos por tecer algumas considerações acerca da validade lógica das argumentações dos alunos. Contrariamente ao que seria correcto, muitos deles consideraram verdadeira a frase que serve de suporte a esta questão. Essa incorrecção pode ter por trás dois tipos de erros de raciocínio:

1. Um primeiro em que o aluno, por não dominar as regras da validade lógica de proposições compostas, julga a validade da composição em função da validade de apenas um dos seus elementos. Esta é uma situação bastante usual. Dos alunos que responderam a esta questão, apenas dois deles concluíram pela falsidade, por ser "a primeira parte falsa e a segunda verdadeira".

2. Um segundo tipo de erro lógico de argumentação, em que podem incluir-se aquelas situações em que o aluno, apoiado nos seus re-

ferenciais espontâneos, considera a primeira parte verdadeira. Por considerar a segunda também verdadeira, conclui ser a frase verdadeira no seu todo.

Quer dizer: o aluno pode ter acedido a uma mesma resposta final (frase verdadeira) na base de pressupostos distintos e processos de raciocínio também diversos. Daqui derivam duas implicações: por um lado a reduzida validade, em termos de diagnóstico de concepções e processos de pensamento, dos testes objectivos e dos estudos quantitativos puros; por outro, o escasso valor de um ensino confinado exclusivamente à promoção na sala de aula do pensamento convergente, suscitado por perguntas dominantemente "fechadas", conducentes a respostas curtas e categóricas.

• **O efeito gravítico da Terra sobre um corpo aumenta com a altura a que o corpo se encontra relativamente ao solo.** São claras e peremptórias as seguintes afirmações dos alunos:

Quanto *maior a altura maior é o peso* [!].

Porque *o corpo toma balanço e cai com mais força* [!].

Esta última resposta é elucidativa quanto a possíveis causas que estarão na base desta concepção. Trata-se, seguramente, da suposição que leva os alunos a estabelecerem associação íntima entre força e movimento. Tal reflecte-se na pobre diferenciação entre força e entidades como "quantidade de movimento" (em sentido corrente e intuitivo), velocidade ou energia cinética e também "balanço" ou "embalagem", por exemplo. Todas elas podem constituir indicadores da rapidez com que o corpo se desloca. No mesmo sentido, vai o estabelecimento de relações de proporcionalidade directa entre esses indicadores e força. Para um corpo cair

com "mais força", com "maior balanço", necessita de ter sido estimulado por uma força maior.

Questão 5

Um balão cheio de um gás leve sobe quando é lançado na Terra mas cairia se fosse lançado na Lua.

☐ Verdadeiro ☐ Falso

• **Os corpos leves não caem (ou têm dificuldade em cair) seja qual for o local do Universo em que forem lançados.**

> *Quanto mais leve é um corpo mais dificuldade tem em cair sobre a Lua,* por isso é que os astronautas têm que utilizar fatos muito pesados para poderem pisar a Lua .

A tese do aluno pode ter como pressuposto a noção de que o estado natural dos corpos "leves" será flutuarem ou subirem (ou caírem com dificuldade). No domínio desses corpos "leves", esse fenómeno terá para o aluno validade universal (na Terra, na Lua ou em qualquer outro astro). Essa universalidade está bem patente nestas outras afirmações:

> O balão não cai porque é muito leve e por isso *estivesse onde estivesse* [!] ele continuaria a subir.

> *O balão está cheio de um gás leve e por isso ele vai subir mesmo que seja na Lua.* [!]

• **A queda dos corpos é explicada pela ausência de suporte ou de ligação.** Neste tipo de explicação da queda dos corpos, não se verifica recurso a entidades formais como as forças. Corresponde-lhe uma das concepções de senso comum mais generalizadas e mais consistentes.

Não resistimos a transcrever um relato de uma situação em que um nosso professor-estagiário foi participante activo, situação essa que espelha bem a consistência de tal premissa e das cadeias de raciocínio dela derivadas (Neto e Almeida, 1990, p. 49). Ao procurar conhecer a posição dos alunos de uma turma do 8.º ano sobre as razões da queda dos corpos, o referido professor trava com um deles o seguinte diálogo:

> **Professor**: Porque será que um pássaro, voando, não cai?
> **Aluno**: (respondendo prontamente): Porque as camadas de ar lhe servem de apoio.
>
> Querendo averiguar até que ponto o aluno sustentava argumentos coerentes, o professor dirigiu-lhe nova pergunta:
>
> **Professor**: Como explicas, então, que a ave caia, uma vez atingida pelo tiro de um caçador?
> **Aluno**: É fácil! *Ela cai porque a bala abriu buracos na camada de ar.*

Mas vejamos agora argumentações complementares das quais emerge (de forma particularmente sugestiva na primeira) uma tal concepção:

> Na Terra existem vários tipos de *gases que não deixam o balão cair* [!] enquanto *na Lua o "ar" é oco* [!] isto é, não existe qualquer tipo de gases que ajudem o balão a permanecer no ar.
>
> [O balão na Lua cai] porque *lá não há oxigénio para o manter em suspensão* [!].

É claro que também poderia acontecer que, ao falar nestes termos, o aluno se estivesse a referir à força de impulsão exercida pelo ar atmosférico (curiosamente reduzido a um dos seus constituintes, o oxigénio) sobre os corpos nele imersos. Não nos inclinamos muito para essa alternativa. Na verdade, nos programas e aulas de física do 9.º ano (e até de outros anos de escolaridade posteriores) escassa atenção é conferida à força de impulsão nos gases. Erradamente, a nosso ver, se pensarmos na ex-

trema importância dessa força na explicação de fenómenos do quotidiano, como é precisamente o caso do movimento de balões.

Vale a pena explorar também o sentido da afirmação que se segue. Embora ela não se enquadre tipicamente nesta categoria, conduz a conclusões similares:

> *O balão cai porque* a Lua não tem atmosfera e por isso *na Lua o gás leve não pode ser mais leve que o ar* [!] e a força gravítica viria a atraí-lo para o solo lunar.

É ela um bom exemplo da diversidade de construtos (Kelly, 1963) que dão suporte às argumentações de senso comum. O aluno começa por atribuir a queda na Lua à inexistência de atmosfera o que, à primeira vista, poderia conduzir à falta de suporte. Só que o raciocínio do aluno não segue essa via. Ao afirmar que "na Lua o gás do balão não pode ser mais leve do que o ar", o aluno parece querer significar duas coisas: por um lado, que entende ser a propriedade "leve" uma propriedade relativa e não absoluta (o que significaria um raciocínio formal já bastante elevado); segundo, que a queda dos corpos leves (e dos corpos em geral) se joga entre a competição de duas propriedades: a sua "leveza", por um lado, e a sua "gravidade", por outro. Na Terra, o balão podendo ser mais leve que o ar, tem leveza, sendo essa propriedade dominante. Na Lua, e na base do relativismo a que nos referimos, não existe "leveza", porque não existe ar, o termo de comparação. Na falta dela, fica só a "gravidade", a qual, agora sem competidor, obriga o corpo a cair para o solo lunar.

• **Na Lua não existe gravidade.** Várias são as razões que os alunos invocam para justificar a pretensa ausência de gravidade na Lua. Uma

delas prende-se com a já insinuada atribuição do fenómeno da gravidade à atmosfera:

> Na Lua *não existe atmosfera e por isso não existe força de gravidade* [!].

Uma outra tem a ver com a ideia de que a gravidade é, possivelmente, uma característica exclusiva da Terra:

> *Lá* [à Lua] *não chega a força de atracção da Terra* [!].

Estamos, mais uma vez, perante um indicador pouco abonatório no que diz respeito ao impacte nos alunos do programa de física do 9.º ano. A lei da gravitação universal, abordada a nível introdutório nesse ano de escolaridade, não terá tido influência significativa na sua matriz cognitiva. A mudança conceptual (encarada como um ideal) terá sido uma miragem. O mundo newtoniano parece continuar longinquamente afastado de muitos alunos, mesmo após a sua escolaridade básica em física.

Questão 6

A gravidade terrestre só se exerce em determinados corpos; não se exerce, por exemplo, no fumo ou numa pena de ave muito leve.

☐ Verdadeiro ☐ Falso

• A gravidade terrestre só se exerce nos corpos pesados, não se exerce nos corpos leves.

> É verdadeiro porque a *leveza* [!] é tão grande que a força da gravidade não a consegue vencer.

> [Verdadeiro] porque *esses corpos são tão leves* [!] *que a força gravítica não actua sobre eles* .

O fumo e a pena são mais leves que a gravidade [!], *por isso não se exercem forças sobre eles.*

Na linha do que pensava Aristóteles, o autor da primeira afirmação defende o seu ponto de vista, utilizando o termo e recorrendo ao conceito de "leveza". Essa afirmação representa o apuramento máximo da competição a que antes nos referimos entre duas propriedades positivas distintas; a "gravidade" (associada a uma força) e a "leveza", *leveza* essa subjacente também à comparação que o terceiro aluno estabelece.

Encontramo-nos de novo perante uma evidência do *pragmatismo do pensamento espontâneo* : para quê recorrer à gravidade se a força que o vento exerce é só por si suficientemente explicativa? Vale a pena também atender à seguinte passagem:

O fumo é um gás e sobe enquanto que a pena é um corpo [!].

O aluno não parece considerar um certo volume de gás como um corpo (porção de matéria). Esse tipo de convicções pode implicar fortes constrangimentos na aprendizagem da física. O termo e o conceito de corpo são nela cruciais. Tacitamente, o professor os admite como facilmente assimiláveis pelos alunos. Acontece que, pelo menos para este aluno (e a experiência nos diz que para muitos mais), essa assimilação pode encontrar sérios entraves.

Contrapomos, agora, várias afirmações que reflectem, total ou parcialmente, o ponto de vista formal:

A gravidade terrestre exerce-se no fumo ou na pena, mesmo que eles sejam leves. Ela exerce-se nos corpos pesados e leves.

[A gravidade] *verifica-se em todos os corpos* embora se verifique com mais intensidade em corpos mais pesados devido a esse seu mesmo *peso* [massa?].

> *A gravidade terrestre exerce-se sobre todos os corpos;* se não a atmosfera do planeta já não estaria sobre a Terra.

Reservamos para o fim uma outra passagem, pela concepção curiosa que lhe subjaz:

> É falso [ou seja, a gravidade também se exerce na pena e no fumo]. (...) A densidade molecular desses corpos é que é pequena originando uma *fraca zona de contacto entre os corpos e a força da gravidade* [!].

Da expressão que colocámos em itálico, emerge a curiosidade a que nos referíamos. Este aluno denuncia a dificuldade que para ele tem a aceitação de forças a distância, sem ligação material interposta. Por isso, ele e muitos mais decidem imaginar uma zona preferencial para a penetração nos corpos, por contacto, da acção gravítica — e, presumimos, de qualquer outra acção à distância.

Questão 7

A Terra atrai uma pedra que se encontra a uma dada altura perto da sua superfície; a pedra, ao contrário, não exerce qualquer força sobre a Terra, visto que tem uma massa praticamente desprezável, relativamente à massa da Terra.

☐ Verdadeiro ☐ Falso

• **A interacção gravítica entre a Terra e um corpo é assimétrica.** Como diria Ogborn (citado em Osborne e Freeman, 1989, p. 26), a assimilação do significado da 3.ª lei de Newton (ou lei da acção e reacção) é, para os alunos, pura magia ou "encantamento religioso". Nós acrescentaríamos ser também uma "questão de fé". Custa deveras a acreditar que um corpo das dimensões da Terra possa exercer numa pe-

dra uma força de valor igual à que a pedra exerce sobre a Terra. É o auge da contra-intuitividade. Não surpreende, por isso, que raros tenham sido os alunos que a esta questão tenham dado uma resposta formal aceitável. As poucas excepções são do tipo:

> A Terra exerce uma força na pedra, e esta responde com uma força de sentido oposto e de igual intensidade.

A regra foi, porém, os alunos darem uma resposta na linha do que anteriormente dissemos. Isto é, uma resposta que, muito embora tivesse subjacente a ideia de interacção, considera essa interacção assimétrica, no que respeita às intensidades do par de forças envolvido:

> A pedra desde que tenha massa exerce sempre uma força na Terra; é claro que *esta força é quase insignificante mas não deixa de ser uma força* [!].

> A pedra exerce uma força, só que pelo facto de a pedra ser mais pequena e exercer uma *força menor* [!], ela é atraída para o centro da Terra.

• **Os corpos não exercem qualquer acção sobre a Terra.** Significativo foi, todavia, o número de alunos que afirmavam não exercer a pedra qualquer força sobre a Terra. Confrontamo-nos, de novo, com sinais evidentes da escassa permeabilidade dos alunos à lei da gravitação universal:

> A Terra *é que* [!] atrai os corpos.

A expressão de realce *é que* afigura-se-nos bastante sintomática. Com ela, o aluno pretenderá deixar bem vincada a sua convicção de que uma pedra não pode exercer força sobre a Terra. Mas particularmente curiosa se nos afigura também a seguinte afirmação:

A pedra não exerce força sobre a Terra porque *a pedra é um ser não vivo, é lógico que não vá andar* [!].

A expressão "é lógico que não vá andar" — para além da concepção animista que parece ter subjacente — significa, presumivelmente, que este aluno só conseguiria perceber a existência de forças de contacto. Se a pedra se pudesse deslocar do sítio em que se encontra e, desse modo, fosse tocar na Terra (no solo), talvez assim o aluno aceitasse que a pedra reagisse sobre a Terra.

Desta forma, espontânea e singela, o aluno consegue alertar-nos para muitos equívocos existentes no ensino da física. Estão eles relacionados com o facto de os professores e outros agentes de ensino tomarem muitos conceitos e leis da física como entidades tacitamente compreensíveis pelos alunos. Algo que eles professores poderão transmitir "já-feitos" e algo que eles alunos serão capazes de assimilar tal qual foram transmitidos, ou seja, sem reinterpretações pessoais.

Considerações Complementares

• **O aluno não diferencia força de outros conceitos físicos.** Demos antes a entender não serem os conceitos científicos (e também os espontâneos) algo que se adquira já-pronto. São, em contrapartida, alvo de um desenvolvimento progressivo e continuado, o qual atravessa estádios em que se misturam construtos provenientes de várias fontes. Era assim de esperar que, numa fase introdutória como era aquela em que (relativamente à mecânica) se encontravam, os alunos por nós investigados projectassem significados os mais diversos: cientificamente puros, espontaneamente puros ou mistos.

Era de esperar, igualmente, a sua dificuldade em diferenciar conceitos físicos, sobretudo nos casos em que o senso comum os utiliza indiferenciadamente. Um exemplo significativo é o que acontecia relativamente aos conceitos de força e energia. Reportando-nos à Questão 2, um aluno ofereceu a seguinte resposta:

> Sim [a bicicleta está a ser actuada por alguma força), porque *a bicicleta já se lhe tinha sido fornecida uma energia,* enquanto o ciclista pedalava, depois ele deixou de pedalar, mas *a bicicleta ainda tinha alguma energia da anterior* (...) depois *a bicicleta vai perdendo velocidade ao mesmo tempo que vai perdendo energia.*

A pergunta indagava da existência de forças a actuarem na bicicleta. No entanto, toda a resposta do aluno é formulada em termos de energia. Essa permuta indiscriminada entre "força" e "energia" (cinética e também potencial) e até "trabalho" colhe também forte evidência nas transcrições que se seguem:

> Sim, a *energia potencial* [!] da bicicleta e do homem é transformada em *energia cinética* [!]. Há uma *força* [!] que faz com que os corpos tenham tendência a continuar o movimento a que foram submetidos. A *força de atrito* [!] faz com que o ciclista vá perdendo velocidade.

> Sim, porque se o ciclista não pedala, não trava é porque a bicicleta vai perdendo velocidade então é porque há *forças* [!] a actuar na bicicleta , que pode ser o peso do homem, vão existir o *trabalho* [!] do homem e também pode ser a *força de atrito* [!] e assim a bicicleta perde a velocidade.

A energia (cinética) é uma grandeza intimamente associada ao movimento. Tendo em conta que muitos alunos estabelecem também equivalência entre movimento e existência de força, é natural essa permuta ou essa identificação entre força e energia cinética. A identificação vai ao ponto de os alunos argumentarem em termos de energia (grandeza esca-

lar) e nas suas representações utilizarem vectores (mais compatíveis com força, grandeza vectorial):

> A energia cinética da bala neste ponto [A] é maior do que a energia gravítica, porque houve transferência de energia do canhão para a bala [o aluno representa dois vectores: um que designa de "cinético" (no sentido do movimento) e outro que rotula de "gravítico" (vertical, descendente e de menor comprimento.]. No ponto B, as forças são iguais porque a bala atinge o seu ponto máximo em que começa a perder energia . No ponto C, a energia gravítica é maior que a energia cinética [o mesmo para os respectivos vectores] porque a bala esgotou a energia transferida pelo canhão logo fica em queda livre, por isso a energia gravítica é superior.

Aconteceu também os alunos permutarem indiscriminadamente as noções de força e de outros conceitos que caracterizam o estado de movimento, como a velocidade ou a "quantidade de movimento" (em sentido intuitivo). Na transcrição que se segue, o aluno recorre alternadamente aos conceitos de força e de velocidade para construir o seu discurso:

> Quando a bala sai do canhão ela sai com força [*começa com força*]. No ponto B, verifica-se que a bala tem menos velocidade [*passa para velocidade*]. E no ponto C já perdeu a força que tinha [*regressa à força*].

• **Inventário das principais concepções de força diagnosticadas.** Fazendo o ponto da situação, e com a validade que uma simples sistematização pode ter, apresentamos agora um inventário das principais concepções de força (espontâneas ou mistas) por nós identificadas nas respostas dos alunos ao pré-teste de resolução de problemas qualitativos de física. Não representam elas, nem poderiam representarar, toda a multiplicidade de pontos de vista pessoais e idiossincráticos que emergem dessas respostas. São, contudo, ilustrativas e elucidativas dessa multiplicidade de pontos de vista. Entre parêntesis rectos, indicamos uma estimativa do número de alunos em que cada uma das concepções surgiu explicitada.

- Força como combustível (algo que se gasta, fornece, deposita, acumula...) — **[12]**
- Força como entidade imanente a um corpo (algo intrínseco que o anima ou activa; "força motriz" ou o *impetus* medieval) — **[28]**
- Força como velocidade, rapidez ou "quantidade de movimento" (em sentido corrente) — **[15]**
- Força como energia (especialmente energia cinética) — **[10]**
- Força como acto de empurrar/puxar/comprimir (ou como esforço físico) — **[14]**
- Força como corpo material considerado em si mesmo (o qual serve de apoio ou de ligação) — **[7]**
- Força como colisão/projecção/explosão e como indicador da sua intensidade ou violência — **[9]**
- Força como interacção assimétrica ou acção unilateral — **[10]**
- Força como fenómeno localizado (inclui a força à distância encarada como força de contacto que se exerce em zonas preferenciais da superfície dos corpos) — **[10]**
- Força como radiação (algo que se emite, transmite, se propaga...) — **[9]**
- Força como acto compulsivo ou obrigatório ("forçar" ou "ser forçado a") — **[5]**
- Força como faculdade exclusiva dos seres vivos (animismo) ou do homem (antropocentrismo)— **[5]**

Retrato Quantitativo de Partida: Comparação Global

Iniciamos esta fase da análise, começando por apresentar uma grande panorâmica (espécie de organizador metodológico prévio), relativa à situação inicial dos três grupos participantes no estudo, tomando sempre como termo de comparação o grupo de controlo. Por motivos que já nos dispensamos de explicitar, subdividimos tal análise em três subanálises, direccionada cada uma delas para um dos três campos categoriais logo descritos no capítulo de introdução.

Dessa panorâmica global, damos conta no Quadro 10. Ele teve origem na aplicação de uma MANOVA aos dados respeitantes ao conjunto de pré-testes que configuram cada um dos antes mencionados campos categoriais.

Quadro 10

Estado de Partida: Comparação por Campos de Análise

MANOVA	CAMPO	*lambda*	g.l.	p	DECISÃO
E1 ≈ C	***Nuclear***	0,79	(5;30)	0,19	E1=C
	da Exper.ª Metacognitiva	0,71	(11;35)	0,26	E1=C
	Afectivo	0,80	(2;46)	0,01	**E1>C**
E2 ≈ C	***Nuclear***	0,73	(3;54)	0,00	**E2>C**
	Afectivo	0,89	(2;59)	0,04	**E2>C**

• *Os sinais = e > significam, respectivamente, "obteve resultados médios estatisticamente idênticos a" e "obteve resultados médios estatisticamente mais elevados do que"; em contextos similares, esses serão, doravante, os significados dos referidos sinais.*

A análise do quadro permite-nos retirar, entre outras, as seguintes conclusões importantes:

Campo Nuclear da Resolução de Problemas

No compósito de pré-testes que configuram este campo (os referentes às variáveis TRPQT, TESTM, TRPQL, TFIS9 e TPLOG) pode afirmar-se que os grupos E1 e C eram, à partida, estatisticamente equivalentes. Da sua formação não aleatória não advinham (no caso específico deste campo) consequências de maior, no que tem a ver com as decisões estatísticas a tomar posteriormente, relacionadas com as mudanças relativas ocorridas.

Ao contrário, e tendo em conta que o compósito em causa é agora definido apenas por três daquelas variáveis (TRPQT, TESTM e TRPQL), já provava ser significativa a diferença inicial entre o Grupo E2 e o mesmo grupo de controlo. Quer dizer: o Grupo E2 partiu para a experiência numa posição significativamente mais vantajosa do que a que correspondia ao mesmo grupo de controlo. A aleatorização, a ser institucionalmente possível, ter-se-ia revelado, desta feita, uma precaução heurística importante a tomar.

Campo da Experiência Metacognitiva

Para esta macrocategoria de análise, possuímos apenas dados relevantes para o par de grupos E1 e C. Tal como acontecia no campo anterior, a análise da variância multivariada não detectou diferenças significativas

entre esses grupos. Eles equivaliam-se, no início, no que toca ao todo integrado dos indicadores metacognitivos que enformam este campo.

Campo Afectivo

A situação resulta agora bem diversa. Relativamente ao grupo de controlo, ambos os grupos experimentais manifestavam no início sentimentos e atitudes globalmente mais favoráveis tanto à aprendizagem das CFQ, em geral, como ao caso particular da resolução de problemas académicos de física. Se pensarmos que os aspectos afectivos e motivacionais, sendo decisivos para a aprendizagem de qualquer assunto escolar, são-no particularmente no caso de disciplinas exigentes como o é a física, pode afirmar-se que, em termos de potencial afectivo e motivacional, os grupos experimentais iniciaram a intervenção numa posição, a esse respeito, relativamente privilegiada.

Pensando no conjunto dos três campos, o posicionamento estatístico dos dois grupos experimentais, em relação ao grupo de controlo, era o que, em síntese, o Quadro 11 pretende ilustrar:

Quadro 11

Estado de Partida: Posicionamento Relativo por Campos de Análise

	Campo Nuclear	Campo da Experiência Metacognitiva	Campo Afectivo
E1 ∝ C	=	=	≠
E2 ∝ C	≠		≠

Retrato Quantitativo de Partida: Comparação Diferencial

A comparação anterior, tendo muito embora o mérito de possibilitar uma visão de conjunto da situação inicial, tem, em contrapartida, o inconveniente de dissimular certas regularidades e evidências que podem também revelar-se pertinentes e, inclusivamente, didacticamente mais ricas. Pensamos, aliás, que um dos pontos fracos das análises estatísticas globais em educação reside, precisamente, nesse tipo de dissimulação: fundirem elas, numa massa amorfa, dados e regularidades que, só por si, podem ter maior validade pedagógica e didáctica do que os índices estatísticos globais.

É por isso que, partindo daquela perspectiva global como organizador metodológico prévio, vamos agora proceder a um *diagnóstico mais fino* dessa situação inicial. Iremos, por outras palavras, discutir os resultados provenientes de uma análise virada já não para cada campo globalmente considerado, mas para cada uma das variáveis que o compõem, tomada individualmente. É o que pretendemos com o Quadro 12, obtido com base na aplicação aos pré-testes da prova *t* de Student, para *amostras não emparelhadas.*

Quadro 12

Estado de Partida: Comparação por Variáveis

Teste *t*	VARIÁVEL	*E1 ∝ C*	*E2 ∝ C*
Campo Nuclear	*TRPQT*	E1 = C	E2 = C
	TESTM	**E1 < C ****	**E2 > C ****
	TRPQL	**E1 < C *****	**E2 > C ****
	TFIS 9	E1 = C	
	TPLOG	E1 = C	
Campo da Experiência Metacognitiva	*COMPa*	E1 = C	
	COMPd	E1 = C	
	FACa	E1 = C	
	FACd	E1 = C	
	CONFa	**E1 > C ***	
	CONFd	E1 = C	
	SEG	E1 = C	
	ATEN	E1 = C	
	REV	E1 = C	
	EMP	**E1 > C ****	
	AVAL	E1 = C	
Campo Afectivo	SATFQ	**E1 > C *****	E1 = C
	ATRPF	E1 = C	**E2 > C *****

* *Pouco Significativo* ** *Significativo* *** *Muito Significativo*

Campo Nuclear da Resolução de Problemas

O grupo de controlo suplantava o Grupo E1 em duas variáveis deste campo (TESTM e TRPQL); nas outras, eles eram estatisticamente equivalentes. Consultando o gráfico da Fig. 5, pode constatar-se que, em termos absolutos, a vantagem do grupo de controlo era porventura mais pronunciada, na medida em que só é superado por E1 na variável TFIS9. Quer dizer: se no campo entendido como um todo indiferenciado os dois gru-

pos não se distinguiam de modo significativo, numa análise mais fina, o grupo de controlo parecia estar, em princípio, mais bem apetrechado para as tarefas de aprendizagem da física e da resolução de problemas de física do que o Grupo E1. O caso particular da variável TPLOG será analisado posteriormente, em local específico.

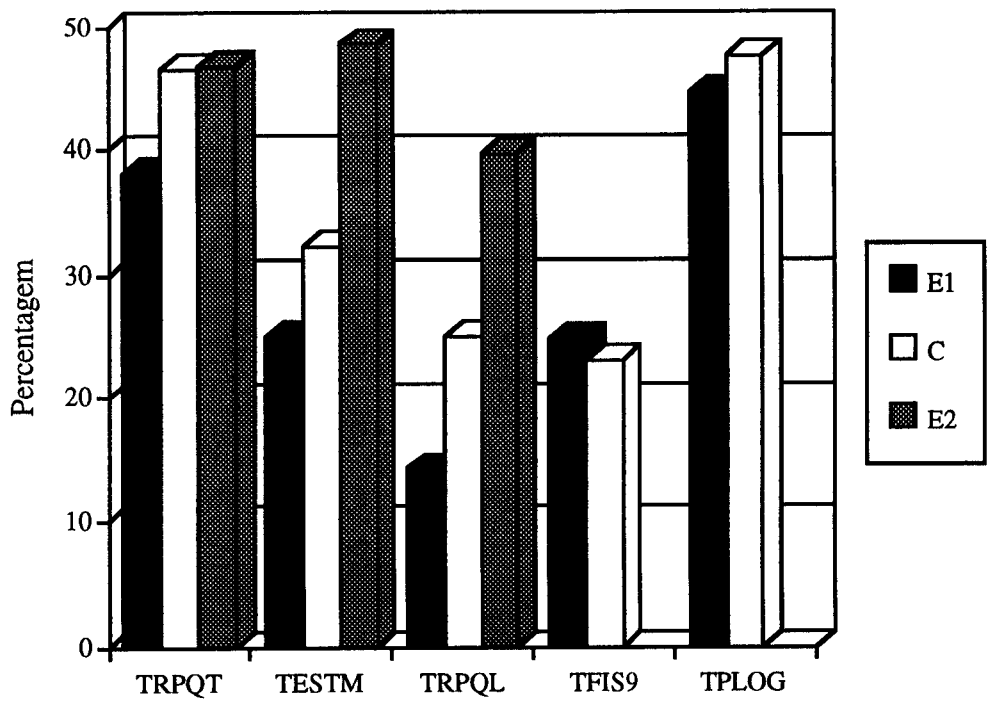


Fig. 5 — *Estado de Partida: Campo Nuclear da Resolução de Problemas*

No que tem a ver com o Grupo E2, a situação é oposta. Este grupo inicia a sua participação na experiência em situação claramente mais vantajosa nas variáveis TRPQL e TESTM. É mesmo nessas variáveis o grupo que parecia denotar melhor preparação: encontrava-se a par com o Grupo C (Fig. 5) no caso de TRPQT e ambos razoavelmente destacados de E1.

Campo da Experiência Metacognitiva

Duma consulta sumária ao Quadro 12, ressalta de imediato a quase total equivalência estatística dos grupos E1 e C no leque de indicadores que dão forma a este campo. Apenas em dois deles se diferenciavam, favorecendo a diferença o grupo experimental. A observação do gráfico representado na Fig. 6 permite verificar que, pensando agora em valores absolutos, existe tendência para uma ligeira vantagem do Grupo E1 em todas as variáveis à excepção de duas (FACa e SEG).

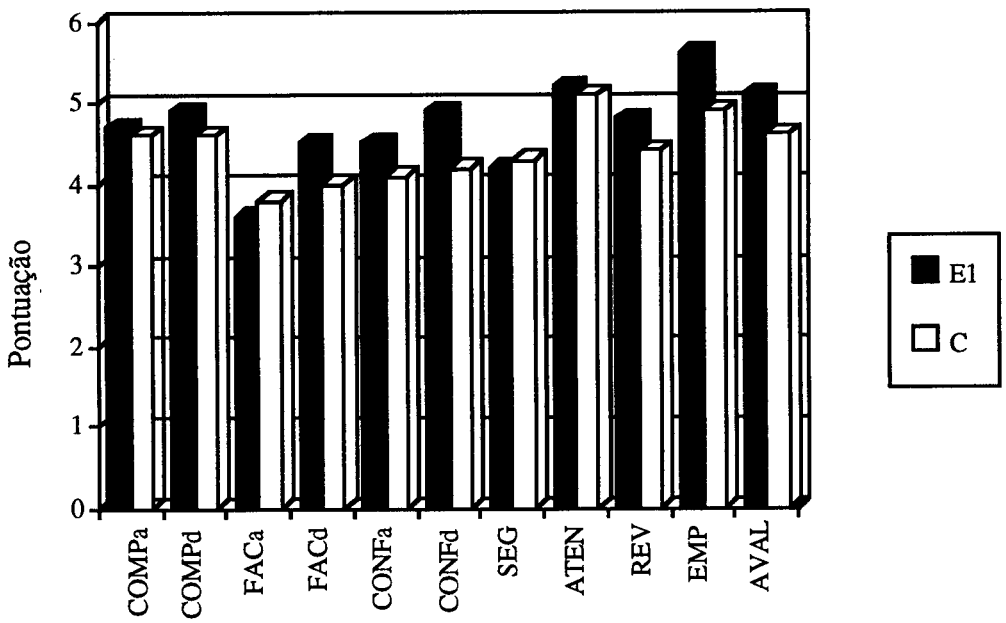


Fig. 6 — *Estado de Partida: Campo da Experiência Metacognitiva*

Campo Afectivo

Os grupos E1 e E2 alternam as suas posições relativamente ao grupo de controlo: se um deles é equivalente ao de controlo numa das variáveis, o segundo suplanta-o na outra. Em termos de valores absolutos (Fig. 7), o grupo de controlo obtém em ambas as variáveis a pontuação mais baixa.

Admitindo estas duas variáveis como bons preditores da capacidade de mobilização dos mecanismos afectivos e motivacionais, dir-se-ia que enquanto E1 possuía à partida um potencial afectivo superior relativamente à aprendizagem das CFQ, E2 encontrava-se comparativamente mais disponível para o treino na resolução de problemas de física.

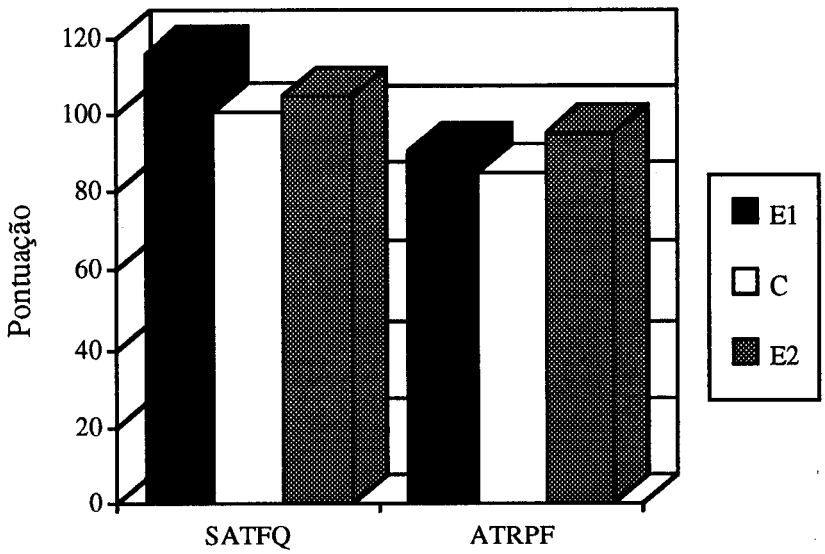


Fig. 7 — *Estado de Partida: Campo Afectivo*

Perfil Lógico e Epistémico dos Grupos

O *pensamento lógico* e os *estilos epistémicos* são duas variáveis moderadoras (de natureza diversa) que assumem nas nossas hipóteses de trabalho um estatuto especial. Tal estatuto torna justificável, em nosso entender, um tratamento individualizado, no quadro do diagnóstico inicial que temos vindo a delinear, no sentido de um melhor conhecimento dos grupos

com que trabalhámos. É esse tratamento que passaremos a apresentar, começando pela primeira das variáveis anteriormente referenciadas.

Pensamento Lógico

Conforme discutimos nos capítulos 2 e 5, existe evidência de que pode revelar-se bastante significativa a influência do pensamento lógico (piagetiano) na aprendizagem escolar, com especial acuidade no caso de disciplinas de forte estruturação lógica como é o caso da física e da matemática. Dada a particular complexidade e, para a grande maioria dos alunos, dificuldade das tarefas de resolução de problemas de física, é natural a assunção de que o pensamento lógico dos alunos pudesse influenciar de modo significativo o seu rendimento nas actividades a desenvolver no âmbito desta pesquisa.

É por isso oportuno e pertinente procedermos à caracterização dos grupos (neste caso, apenas de E1 e C) no que tem a ver com essa competência cognitiva. Convém recordar que o teste, através do qual a operacionalizámos, se revelou um instrumento em que era lícito depositar alguma confiança, tanto no que respeita à sua validade de conteúdo (conteúdo esse obviamente confinado à matriz piagetiana), como também à fidelidade das medidas com ele obtidas.

Considerando o conjunto de todos os alunos que realizaram este teste (E1+C), pudemos constatar (em consonância com a literatura e tal como rapidamente suspeitámos) que os mesmos revelavam grandes insuficiências ao nível dos seus desempenhos nessa dimensão do pensamento (média = 44,5 e mediana = 39,5; ou seja, ambas abaixo de 50%).

Observámos já (Quadro 12 e Fig. 5), embora de passagem, que o grupo de controlo apresentava ligeira vantagem, se comparado com o grupo experimental (média de 47,6 para C e de 41,7 para E1). Essa diferença não se revelou, contudo, significativa: $F(1;46) = 0,81$ com $p = 0,37$.

A ligeira vantagem do grupo de controlo era consonante com a ideia que dele havíamos formulado, ao constatarmos o desempenho excelente de alguns dos seus elementos nas discussões de sala de aula, a sua menor média de idades e o consequente menor índice de reprovações. Fomos, aliás, verificar se existia alguma relação entre o número de reprovações dos alunos e o seu pensamento lógico. Obtivemos os seguintes resultados:

Quadro 13
Pensamento Lógico versus *Número de Reprovações*

	E1	C	E1 + C
ρ de Spearman	- 0,257	- 0,548 ***	- 0,416 ***

*** *Muito Significativo*

Todas as correlações resultaram (como seria de esperar) negativas, embora só no Grupo C e no grupo global elas sejam significativas. Apoiados sobretudo nesse grupo global, parece plausível admitir a hipótese de o número de reprovações constituir um preditor adequado do nível de desempenho no pensamento lógico. Essa hipótese não deixa, afinal, de se revelar uma quase evidência na escola que temos. Entre o pensamento convergente (lógico ou vertical) e o pensamento divergente, é indiscutivelmente o primeiro aquele que a escola privilegia. O número de reprovações, podendo ser um indicador do insucesso do aluno na escola, é tam-

bém um indicador do seu insucesso no pensamento convergente (lógico) que a mesma escola preferencialmente tenta estimular e promover.

Em síntese, e retomando agora o rumo da argumentação que vínhamos desenvolvendo, no que se prende com esta variável moderadora, os dois grupos em confronto parecem ter partido para a experiência em situação de equilíbrio. A distribuição de efectivos em torno da mediana do grande grupo acaba, assim, por ser idêntica, como o comprova o Quadro 14:

Quadro 14
Pensamento Lógico: Distribuição de Efectivos em Torno da Mediana do Grande Grupo

	Acima da Mediana	Abaixo da Mediana
E1	12	12
C	13	11

Mas, se é verdade que, em termos de comportamento médio, os dois grupos não se diferenciam estatisticamente, já em termos individuais a situação é bem diversa: pertencem ao grupo de controlo os dois alunos que obtiveram a melhor classificação no teste de pensamento lógico — 100% para ambos, quando o melhor elemento de E1 obteve 86%.

Atrevemo-nos a admitir que isso não se verificou por acaso. Pensamos que o sucesso desses dois alunos é consonante com a nossa própria percepção (falível, é certo). Os referidos alunos eram, afinal, aqueles que maiores aptidões para a aprendizagem da física pareciam revelar: intuição e pensamento lógico bastante desenvolvidos. Voltaremos, ao longo do trabalho, a discutir a *situação especial destes dois alunos,* servindo as conclusões extraídas para reforçar a nossa convicção. E para reforçar, cumula-

tivamente, a plausibilidade da hipótese de trabalho que nos levou a considerar o pensamento lógico como uma importante variável moderadora no tipo de pesquisa em que nos envolvemos.

No intuito de dar suporte acrescido àquela hipótese, experimentámos correlacionar os resultados obtidos pelos dois grupos nalguns dos pré-testes com os resultados por eles obtidos no teste de pensamento lógico. Poderíamos também ter procedido de igual modo relativamente aos valores obtidos com os pós-testes. A legitimidade desse procedimento seria, porém, discutível. Ao contrário do que acontece com os testes iniciais, os pós-testes reflectem já o efeito diferenciador das distintas metodologias seguidas por ambos os grupos, pelo que as correlações respectivas careceriam de sentido. Obtivemos, em resultado, as correlações incluídas no Quadro 15.

O que logo se destaca desse quadro é o baixo número de correlações com algum significado estatístico ocorrido no caso de E1. Olhando apenas para este grupo, dir-se-ia ser escassa a contribuição desta análise para o reforço da nossa hipótese inicial (corroborada pela literatura): a que aponta para a existência de associação entre as medidas de pensamento lógico piagetiano e o rendimento dos alunos em ciências.

Quadro 15
Correlações de TPLOG com Alguns Pré-Testes

r de Pearson	**TRPQT**	**TESTM**	**TRPQL**	**TFIS9**	**SATFQ**	**ATRPF**
E1	0,28	- 0,29	0,20	0,43**	0,31	0,52**
C	0,51**	0,56**	0,64***	0,65***	0,30	0,38*
E1+C	0,41***	0,28	0,51***	0,57***	0,25	0,41***

Pouco Significativo* ***Significativo* ** Muito Significativo*

Voltamos, no entanto, a encontrar algum fundamento para aquela hipótese, quando analisamos o que se passa com o grupo de controlo ou com o grande grupo (E1+C). Há que olhar, todavia, para estas inferências (tanto pela positiva como pela negativa) com algumas reservas, em virtude dos baixos valores dos coeficientes de fidelidade de alguns destes pré-testes.

Parece, por outro lado, estar a desenhar-se uma fraca associação estatística do pensamento lógico com a metacognição ou, mais precisamente, com a dimensão cognitiva operacionalizada com base nos itens que dão corpo à variável TESTM. Além disso, parece haver fortes razões para acreditar que não existe associação significativa entre o teste de pensamento lógico e a variável SATFQ, variável essa que, como sabemos, pretende representar toda uma gama de comportamentos do foro afectivo, eventualmente condicionadores do funcionamento dos mecanismos de aprendizagem em física (ou, mais propriamente, em física e química). Dito de outro modo: não seriam necessariamente os alunos com maior nível de pensamento lógico — aspecto que favorece, em princípio, a aprendizagem da física — a manifestar atitudes mais favoráveis a essa aprendizagem.

Curiosamente, parece suceder o contrário no que diz respeito à relação do pensamento lógico com a atitude dos alunos face à resolução de problemas de física. Aí, obtivemos correlações significativas em todos os grupos — com particular incidência naquele que será o mais fiável, o grupo (E1+C). Os alunos com melhor nível de desempenho nas competências do pensamento lógico são possivelmente aqueles que manifestarão atitudes mais favoráveis perante a actividade de resolver problemas de física. Ou seja, são possivelmente aqueles que experimentarão menores bloqueamentos afectivos e motivacionais perante essas actividades.

Relacionando com o pensamento de Vygotsky, talvez que nós pudéssemos afirmar estar a zona de desenvolvimento próximo desses alunos mais avançada, se comparados com aqueles que revelam níveis menos desenvolvidos. Estando mais avançada, existe para eles uma menor probabilidade de essas tarefas caírem em áreas que estão para além do limite superior dessa zona de desenvolvimento próximo. Isto é: existe menor probabilidade de serem neles criados constrangimentos decisivos, os quais os levarão a projectar tais atitudes menos positivas.

Esta leitura constitui, contudo, não mais que uma primeira abordagem a esta questão, na medida em que aquilo que vai ser decisivo para nos pronunciarmos sobre a influência do pensamento lógico na aprendizagem da física e na resolução de problemas nessa área serão as mudanças experimentadas pelos alunos; e essas não poderemos nós avaliar por meros estudos de correlação. Necessitamos de outras técnicas de análise estatística, as quais ensaiaremos mais à frente.

Dificuldade a CFQ e Pensamento Lógico

Já dissemos que a variável pensamento lógico é — e nós próprios o admitimos como hipótese heurística — considerada um factor diferenciador importante na aprendizagem e na resolução de problemas de física. É natural pensar-se, então, que possa ocorrer algum grau de associação negativa entre o nível de pensamento lógico dos alunos e o grau de dificuldade por eles evidenciado ou experimentado perante aquelas tarefas de aprendizagem e de resolução de problemas.

Ora acontece que, algum tempo após termos iniciado a experiência, ao procedermos a uma análise exaustiva das *fichas pessoais dos alunos,* verificámos que, no verso dessas fichas, ao serem questionados acerca das disciplinas nas quais tinham até aí sentido maiores dificuldades, grande parte dos alunos de ambas as turmas referia sistematicamente as CFQ, praticamente a par com a matemática.

Isso despertou em nós a curiosidade de investigar até que ponto essa declaração dos alunos, ou seja, a dificuldade a CFQ por eles afirmada, poderia ser ou não um bom preditor do seu sucesso nessa disciplina e, mais concretamente, na experiência que desenvolvemos no âmbito dessa disciplina. Para além da variável pensamento lógico (inicialmente não prevista), estávamos assim de posse de uma nova variável, colateral no nosso estudo, a que atribuímos a sigla DIFCFQ, com o significado de "dificuldade a CFQ prévia e espontaneamente declarada".

Quadro 16
Dificuldade a CFQ ou Matemática Previamente Declarada

		FREQUÊNCIAS	
	CATEGORIA	**E1**	**C**
CFQ	SIM	14	9
	NÃO	13	15
MAT	SIM	13	12
	NÃO	14	11

A essa variável, de tipo nominal, fizemos corresponder (Quadro 16) as categorias SIM ou NÃO, conforme o aluno havia ou não declarado, na respectiva ficha pessoal, ter ou não dificuldades à dita disciplina. O

quadro anterior refere-se, precisamente, ao perfil dos dois grupos quanto a essa variável e, a título de complemento, ao seu perfil no caso da matemática. A distribuição de categorias é semelhante para as duas turmas (praticamente equitativa) e para as duas disciplinas em cada turma.

É significativo, em ambos os grupos (com ligeiro destaque para E1), o número de alunos que declarou expressamente, no início do ano lectivo, sentir dificuldades na disciplina de Ciências Físico Químicas — e nós atrevemo-nos a afirmar que a principal responsável por essa situação deveria ser a vertente de física. Fomos, de seguida, investigar até que ponto se verificava relação significativa (colocávamos, obviamente, a hipótese de, a existir, ser negativa) entre essa variável e as medidas de pensamento lógico. Obtivemos os valores que indicamos no Quadro 17:

Quadro 17
Dificuldade a CFQ e Pensamento Lógico

ANOVA

Fonte da Variância	***F* (1;44)**	**p**
DIFCFQ	**6,11**	**0,02****
GRUPO	**0,34**	**0,56**
INTERACÇÃO	**1,45**	**0,23**

** *Significativo*

Tal como suspeitávamos, o efeito da variável DIFCFQ no pensamento lógico prova ser realmente significativo. Consultando a tabela de incidências representada no Quadro 18, verificamos, na verdade, que os alunos que à partida afirmaram ter dificuldades em CFQ (categoria SIM) obtêm em ambos os grupos valores de pensamento lógico bastante inferiores aos

obtidos pelos seus colegas que não declararam expressamente essas dificuldades (categoria NÃO).

Quadro 18

Tabela de Incidências de DIFCFQ no Pensamento Lógico

	GRUPO:	E1	C	TOTAIS:
DIFCFQ	*SIM*	14 31,6	9 42,8	23 36,0
	NÃO	11 54,6	14 50,7	25 52,4
TOTAIS:		25 41,7	23 47,6	48 44,5

Por outro lado, não é significativa a interacção entre a variável DIFCFQ e a variável GRUPO. Significa isso que as duas categorias SIM e NÃO influenciam de forma idêntica o pensamento lógico em ambos os grupos — apesar de, no caso de E1, ter sido mais acentuado o fosso entre os resultados médios obtidos por ambas as categorias (23,0 em E1 para 7,9 em C).

Estilos Epistémicos

Quanto à variável estilos epistémicos, nas duas turmas para as quais obtivemos dados (E1 e C), o retrato descritivo é resumidamente o consignado no Quadro 19. Os dois grupos são nitidamente distintos, no que tem a ver com os estilos epistémicos individuais dos seus elementos. Enquanto no Grupo E1 predomina claramente o estilo empírico (o grupo é praticamente homogéneo nesse estilo), no de controlo as frequências distribuem-se quase equitativamente pelos estilos empírico e metafórico.

Quadro 19

Frequências dos Estilos Epistémicos em E1 e C

ESTILO	E1	C
Empírico	20	10
Racional	2	1
Metafórico	4	13

Em ambos os grupos, o estilo racional parece estar praticamente ausente, circunstância que passaremos a discutir com algum pormenor. É suposto, como vimos, este estilo se ajustar bem aos indivíduos com forte propensão e facilidade no pensamento lógico-matemático. Lícito é então admitir que tal estilo possa constituir um bom preditor do sucesso dos alunos em disciplinas como matemática e física. Tendo em vista as enormes dificuldades declaradas (e também por nós repetidamente comprovadas) pelos alunos dos grupos E1 e C, e os níveis médios relativamente reduzidos por eles obtidos nas medidas do pensamento lógico, dir-se-ia ser essa frequência reduzida do estilo racional algo previsível.

Mas, apesar da convicção de que o estilo racional seria dos três aquele cuja influência se poderia revelar mais marcante no domínio científico em que trabalhámos— a mecânica, assunto que, dada a sua complexidade lógico-estrutural, impõe especiais desafios ao processo de ensino-aprendizagem nele decorrente —, apesar disso, dizíamos, vimo-nos forçados a retirar esse estilo da análise. A sua frequência diminuta não deixaria de implicar distorções importantes na análise dos dados. No que se segue, o estilo racional não voltará por isso a figurar.

É já o que acontece no Quadro 20, o qual reflecte um passo da investigação com o qual procurámos verificar se se confirmava ou não a hipótese da existência de relação entre os estilos epistémicos e o pensamento lógico. É evidente que, uma vez que nesse quadro não vai entrar o estilo que, à partida, e mais provavelmente, poderia assegurar associação, não previámos que ela existisse, em grau significativo, entre os dois outros estilos remanescentes. E é isso precisamente o que o quadro permite comprovar.

Quadro 20

Estilos Epistémicos e Pensamento Lógico

ESTILO	EFECTIVOS	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
Metafórico	**17**	**42,6**	**23,0**
Empírico	**27**	**43,0**	**22,3**

Observa-se, com efeito, para ambos os estilos, um comportamento praticamente idêntico, tanto em termos de média, como de desvio padrão. O teste da análise da variância permitiu comprovar, de forma inequívoca, o que acabámos de dizer: $F\ (1;42) = 0{,}00$ com $p = 0{,}96$.

6.2

O ESTADO DE CHEGADA E AS MUDANÇAS OCORRIDAS

Uma vez caracterizada a posição inicial dos grupos participantes na intervenção, quer em termos de conhecimentos qualitativos, quer em termos de competências cognitivas e metacognitivas de resolução de problemas e de estados afectivos correspondentes, é chegada a hora de apresentarmos matéria factual que possa dar conta do *impacte efectivo* dessa mesma intervenção. Surge, por conseguinte, a necessidade de investigarmos até que ponto se confirmam ou não as hipóteses de trabalho enunciadas na introdução. Elas constituem, afinal, o grande guia heurístico, tanto da investigação teórica prévia que realizámos, como do desenho e da metodologia experimental por que optámos, e também da análise de dados a que vimos procedendo.

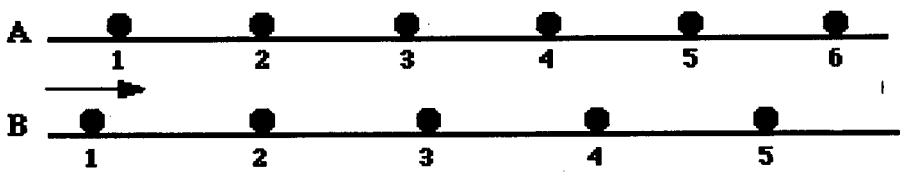
Antes, porém, de dar consecução plena àquele objectivo, julgamos oportuno e pertinente, e à semelhança do que fizemos para o estado inicial, esboçar uma radiografia da situação de chegada dos alunos, repercutidos que foram os efeitos da intervenção. Começaremos, igualmente, por apresentar uma caracterização dos sistemas de construtos pessoais associados, de novo, à relação força-movimento. Essa caracterização será, desta vez, realizada a partir da análise de conteúdo das respostas dos alunos (dos grupos E1 e C) às questões que consubstanciam o *Teste de Resolução de Problemas Qualitativos de Física,* na sua versão-pós.

Radiografia Final dos Sistemas de Construtos Pessoais Associados ao Binómio Força-Movimento

Em quase todas as matrizes que aqui incluiremos serão fornecidos *indicadores estimativos* da frequência com que cada categoria de resposta (ou cada concepção) surgiu em cada grupo.

Questão 1

Duas bolas A e B movem-se com velocidade constante por duas calhas paralelas. As posições ocupadas pelas bolas em instantes idênticos aparecem identificadas na figura que se segue, por números também idênticos. A seta refere-se ao sentido do movimento das bolas. O ponto de partida de cada bola não se encontra assinalado.



No troço de movimento que se encontra figurado, alguma vez aconteceu as bolas terem *igual velocidade* ?

• Má diferenciação entre conceitos cinemáticos. C = 8 E1 = 5

• ***posição e deslocamento (espaço ou distância)***	• No instante dois os pontos encontram-se *em* distâncias diferentes [*a preposição* em *aplicada a distância (variável de linha) denota a confusão com posição (variável de ponto)*].
• ***posição e instante***	• [A resposta é SIM] porque ambas têm movimento uniforme e rectilínheo [sic], embora a distância entre os *espaços* [!] seja diferente.

- [A resposta é NÃO] porque apesar de se moverem com velocidade constante e no instante 2 estarem na mesma *direcção* [*em vez de posição*], a bola B percorre o *mesmo espaço* que a bola A em *intervalos de tempo maiores* tendo por isso uma velocidade maior [*entra em contradição: dada a premissa e se o aluno dominasse o conceito de velocidade, deveria ser menor*].

Vale a pena reparar na dificuldade do aluno: o que visualiza no papel são diferentes distâncias espaciais, para o mesmo intervalo temporal; o aluno percebe exactamente o oposto. No mesmo sentido, apontam as seguintes transcrições:

- *Os instantes são diferentes* para as duas bolas *assim como os intervalos de tempo* [!].

- As bolas *partem em instantes diferentes* [*o aluno não o pode saber*]. A bola A parte primeiro.

O que o aluno visualiza é que no primeiro instante figurado (o instante 1) a bola A vai à frente da bola B; daí a tomar o ir à frente nesse instante com o ter partido primeiro (porque vai à frente) vai um passo curto.

• posição e velocidade

- [A resposta é SIM] porque no instante 2 [*posição idêntica*] as bolas têm a mesma velocidade.

Questão 2

Em dado instante, numa auto-estrada, um carro ligeiro encontra-se a ultrapassar um camião TIR que segue no mesmo sentido, numa faixa paralela. É óbvio que o valor da velocidade do carro é *superior* ao valor da velocidade do camião. Será que o mesmo se passa, necessariamente, com o valor da aceleração do carro relativamente à aceleração do camião?

- **Má diferenciação entre força e aceleração.** **C = 2 E1 = 0**

- [A resposta é NÃO] porque o camião necessitará de um pouco mais de aceleração visto que é mais pesado [*ou um pouco mais de "força"*]. Tem que ter um valor de aceleração superior ao do carro, para que consiga andar, porque é muito pesado.

Quer dizer: parece de inferir que a aceleração é para o aluno a causa do movimento do camião e não um efeito ou uma medida do modo como esse movimento se processa.

- **Má diferenciação entre força e velocidade.** **C = 11 E1 = 8**

- [A resposta é SIM] por a aceleração é [sic] a variação de velocidade logo se a velocidade é maior a aceleração é maior.

Comece-se por reparar na dificuldade de expressão do aluno. Repare-se, por outro lado, na sua igual dificuldade em lidar, simultaneamente, com valores instantâneos de uma grandeza (velocidade) e com as suas variações. Encontra-se ela bem expressa no tipo de relação directa que o aluno estabelece entre aceleração e velocidade, quando tudo apontaria para que o fizesse entre aceleração e variação de velocidade, dada a definição inicial que propõe.

Essa constitui uma das grandes dificuldades dos alunos em física: confundirem, por exemplo, energia com variação de energia, posição com variação de posição (deslocamento) ou velocidade com variação de velocidade.

É claro que nos comentários precedentes deixámos propositadamente para o fim a maior de todas as dificuldades relacionadas com o conceito de aceleração: ter esse conceito a ver não com uma variação mas com uma razão entre duas variações (com uma taxa de variação temporal). Mas essa é uma questão que nem este aluno nem a maioria deles consegue bem perceber. É necessário tratar-se de um aluno já com uma capacidade de pensamento lógico-formal elevada para que isso se concretize.

- [A resposta é NÃO] porque um carro para ultrapassar o outro tem de acelerar [*influência total da linguagem corrente; ver comentário em baixo*].
- [A resposta é SIM] porque a aceleração, ou seja, a variação de velocidade por unidade de tempo, é superior à do camião, logo o carro tem uma aceleração superior.

O aluno percebe que a velocidade do carro tem de ser superior à do camião. Sabe, por outro lado, que a aceleração é "a variação de velocidade por unidade de tempo". Levado pelo significado vulgar de "acelerar" (ir mais depressa), o aluno descodificará aquela expressão como "a aceleração é ir a uma velocidade maior".

Nas categorias de resposta relacionadas com as duas questões anteriores, está patente a já discutida dificuldade de os alunos diferenciarem convenientemente os conceitos físicos. Aquando da caracterização do estado inicial, alegámos como causa não irrelevante o facto de os conceitos

(espontâneos ou científicos) serem alvo de um longo e progressivo processo de evolução. O tempo relativamente escasso dedicado à abordagem dos conceitos antes referidos constitui sério entrave a que na construção dos mesmos os alunos atinjam estádios em que sejam capazes de os discernir.

Mesmo assim, e salvaguardando a escassa representatividade dos indicadores apresentados, parece haver uma tendência para um relativo maior sucesso dos alunos do grupo experimental nessa tarefa cognitiva. Trata-se de um sucesso relativo, uma vez que também nesse grupo as dificuldades foram uma constante.

Questão 3

Uma bola metálica, de dimensões reduzidas, é atirada ao ar na vertical. Dada a natureza da bola e o facto de a velocidade de lançamento ser pouco elevada, pode considerar-se desprezável a resistência do ar. *Durante a subida,* actua(m) na bola:

- ☐ *apenas o peso;*
- ☐ *apenas a força responsável pelo movimento, dirigida para cima;*
- ☐ *o peso e uma força oposta ao peso, força essa de valor constante;*
- ☐ *o peso e uma força de valor decrescente, dirigida para cima;*
- ☐ *uma força vertical ascendente que actua sozinha até uma altura em que também o peso começa a actuar.*

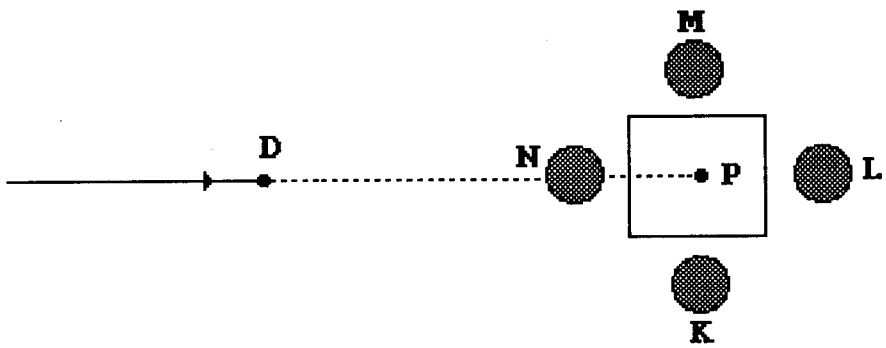
- **Recurso "à força do movimento" ou a esta e ao peso para explicar a ascensão de um corpo na vertical.** **C = 11 E1 = 5**

- Durante a subida *só actua uma força* [!] vertical, *é a força com que é lançada a bola* [!], mas que à medida que vai subindo vai perdendo intensidade, acabando por deixar de actuar. Até que volta para baixo quando o peso começa a actuar.

Como acontecia no estado inicial, a "força do movimento" continua a exercer forte apelo sobre os alunos. Tão forte que estes vão ao ponto de ignorarem ou depreciarem a outra força vertical (o peso), em virtude de a anterior satisfazer plenamente os seus requisitos quanto ao movimento da bola. Só mais tarde, quando a "força do movimento" se anula, reabilitam o peso por este lhes vir a calhar na satisfação daqueles requisitos, agora na descida. Àquele apelo nem os melhores alunos conseguem ser imunes.

Questão 4

Uma nave espacial, com quatro motores (K, L, M e N), move-se, com movimento acelerado e rectilíneo, numa região do espaço onde não existe gravidade nem atmosfera. A certa altura, ao atingir o ponto D, o piloto decide desligar o único motor em funcionamento.



Considera agora a afirmação: *A nave tem possibilidade de atingir o ponto P.* Essa afirmação:

☐ *é possível — aliás, a nave até poderia ir mais longe do que P, sempre em movimento uniforme e rectilíneo, apesar de os motores estarem desligados;*

☐ *só é possível se a nave, que vai "perdendo" velocidade, não parar antes de P;*

☐ *é impossível, dado que a nave, com os motores desligados, tenderá a cair e, por isso, não pode seguir em linha recta até P.*

- **Estabelece implicação lógica entre ausência de força (ausência efectiva ou resultante nula) e perda de velocidade.** **C = 8 E1 = 6**

- [É possível] porque a nave ao desligar os motores não perde logo a velocidade, embora a velocidade diminua, a nave chegará ao ponto P.

- [Só é possível se a nave, que vai perdendo velocidade, não parar antes de P] porque se os motores se desligarem a nave vai perdendo velocidade até que acaba por parar , podendo não chegar ao fim. Acho até *que quando parar poderá vir a cair.*

Nenhum dos alunos parece ter apreendido a mensagem da lei da inércia: resultante nula (como é o caso) equivale a movimento uniforme (e rectilíneo) e não movimento retardado. Interessante também a perspectiva de "queda" do segundo aluno. Conhecendo que um avião na terra cairá se os motores pararem no ar, segue a mesma ideia no caso da nave, ignorando a informação de se tratar de uma hipotética zona sem gravidade.

Para haver movimento tem de existir uma força na direcção e sentido em que ele se processa. Este era o teor de uma das categorias conceptuais identificadas no estado inicial que maior apoio recolhia (e costuma reco-

lher). Verificamos continuar ela, agora no estado final, a usufruir de grande popularidade, sobretudo no que tem a ver com o grupo de controlo (14 alunos desse grupo num total de 22 a perfilhavam). Já no que diz respeito ao grupo experimental, parece ter a referida concepção perdido algum terreno. Isso não significa, contudo, que a maioria dos seus elementos dela tenha abdicado. Apenas significa que, no que se reporta à situação problemática colocada, as suas respostas pendiam mais a favor de argumentações científicas. É preciso todavia atender a que esse tipo de situação adquiria maior familiaridade para este grupo do que para o de controlo. Isto porque, ao contrário de E1, não recorremos no grupo de controlo a procedimentos sistemáticos de diagnóstico, explicitação e discussão de concepções alternativas.

No que diz respeito ao tipo de argumentações consubstanciadas nas respostas à Questão 4, o fosso entre os dois grupos não é tão pronunciado. Por outro lado, é apreciável em ambos os grupos o número de alunos para os quais a lei da inércia acabou por ser, como diz Ogborn, simplesmente "inacreditável".

Questão 5

Um atleta extremamente possante e bem treinado está a tentar esticar ao máximo uma mola muito forte. Quase ao atingir o limite das suas energias, e transpirando por todos os poros, o atleta conseguiu o objectivo, mantendo a mola esticada durante alguns segundos. Durante esses segundos, pode afirmar-se que a resultante das forças a actuarem na mola era:



- ☐ bastante elevada, dado o enorme esforço do atleta;
- ☐ nula;
- ☐ impossível de avaliar sem dados numéricos.

- **Na caracterização da resultante das forças que actuam num dado corpo, faz intervir forças que actuam noutros com que o primeiro interactua.**

C = 6 E1 = 5

Por outras palavras: o aluno esquece ou ignora que as forças que constituem um par acção-reacção estão aplicadas cada qual num dos corpos interactuantes.

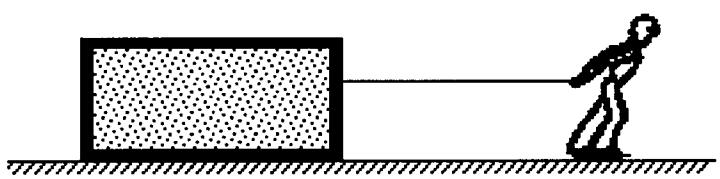
- [A resultante das forças a actuar na mola é nula] porque a força resultante da força do homem [ponto de aplicação no homem] e da mola [ponto de aplicação na mola] é igual a zero dado que a força que o homem exerce sobre a mola é igual à que a mola exerce sobre o corpo.
- [A resultante na mola é nula] porque este é um par acção-reacção. Então por mais força que o homem faça sobre a mola esta reage com uma força igual. [*Tudo correcto só que não serve para justificar a questão colocada*].

É recorrente, nas análises qualitativas a que temos procedido, esta extrema dificuldade de os alunos perceberem que o estado de equilíbrio de um corpo só depende das forças nele aplicadas e não de outras forças que constituem com as primeiras pares acção-reacção.

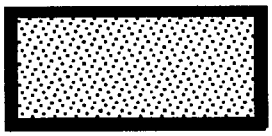
É claro que são as *interacções de contacto* as que colocam aqui problemas maiores. Grande terá de ser o nível de abstracção do aluno para perceber que as forças associadas a interacções de contacto têm pontos de aplicação diferentes. O que o aluno "vê" (macroscopicamente) é uma superfície de contacto comum aos dois corpos e é aí que localiza ambos os pontos de aplicação. Até por não saber (porque provavelmente nunca lhe foi explicado) que as forças aplicadas a corpos rígidos podem ser encaradas como vectores deslizantes, fica "amarrado" aquela localização "única" dos pontos de aplicação.

Questão 6.1

A figura representa um homem a puxar um bloco de mármore sobre uma plataforma horizontal e com velocidade constante.



Representa, na figura seguinte, *separadamente,* as forças que actuam no bloco e as que actuam no homem.





A multiplicidade e a diversidade de respostas a esta questão foram tão marcantes que julgámos pertinente estudar exaustivamente possíveis razões justificativas. Nessa perspectiva, elaborámos uma primeira matriz (Quadro 21) onde é feito um inventário-síntese das representações vectoriais propostas pelos alunos como resposta à questão solicitada:

Quadro 21

Inventário-Síntese das Representações Vectoriais Propostas pelos Alunos a uma Questão sobre a Lei da Acção e Reacção

Número de Vectores Representados	Garantem Soma Vectorial Nula?	C	E1
8	SIM	2	6
	NÃO	3	1
7	NÃO	3	8
6	SIM	—	—
	NÃO	—	4
5	NÃO	6	3
4	SIM	1	—
	NÃO	2	2
3	NÃO	—	1
2	SIM	1	—
	NÃO	—	1
Resposta Atípica	—	4	1

Da observação do quadro, *duas implicações didácticas* imediatamente sobressaem:

- Primeiro, a extrema dificuldade que a representação de forças implicou para os alunos. Apenas cinco alunos do grupo de controlo e sete do grupo experimental foram capazes de representar a totalidade dos vectores em causa (oito). A partir daí, as mais variadas combinações foram propostas. Como pano de fundo a este insucesso quase generalizado, estará a recorrentemente discutida incapacidade de os alunos lidarem com o aspecto dual das forças, isto é, de as encararem como entidades representativas de interacções simétricas duplas.

- Segundo, a dificuldade manifesta de os alunos estabelecerem ligações lógicas significativas entre factos científicos e as respectivas leis explicativas — no caso, entre o estado de movimento rectilíneo e uniforme e a condição de anulamento da força resultante — e de as aplicarem a situações concretas (sobretudo se de novas situações se tratar). Verificamos, com efeito, ser elevadíssimo em ambos os grupos (14 no de controlo e 20 no experimental) o número de alunos cuja representação vectorial não assegura aquele anulamento. É inquestionável ser este um aspecto em que o insucesso atinge uniformemente os dois grupos. E atinge em especial o grupo experimental, tendo em conta as oportunidades acrescidas que lhe foram proporcionadas, no sentido de treinar e desenvolver a competência em questão.

É interessante analisar especificamente (Quadro 22) quais as forças e as interacções em que os alunos mais falhavam:

Quadro 22

Algumas Interacções Especialmente Problemáticas

Localização das Falhas	Natureza das Falhas	C	E1
interacção bloco-homem	• omite a reacção no homem	3	5
	• omite ambas as forças do par acção-reacção	—	3
	• traça o par de forças mas não respeita a sua simetria	9	7
reacção normal do solo	• omite a reacção normal no bloco	1	1
	• omite reacção normal no homem	5	6
	• omite a reacção normal em ambos	5	5
peso do bloco e do homem	• omite o peso do homem	3	2
	• omite o peso de ambos	1	1
atrito com o solo	• omite o atrito no bloco	3	1
	• omite o atrito no homem	5	8
	• omite o atrito em ambos	1	3
	• representa a força de atrito no homem no sentido contrário ao do movimento	1	4
outras	• considera uma dada força e as suas componentes como constituindo três forças independentes	3	2
	• compõe vectorialmente força com aceleração	2	1
	Total de Falhas:	42	49
	Média de Falhas :	**1,9**	**1,8**

Podemos concluir que uma das forças que mais bloqueamentos terá induzido foi, por certo, a *força de reacção normal,* sobretudo a que estava aplicada no homem. Talvez estejamos em presença de um efeito pernicioso das chamadas situações prototípicas correntemente utilizadas: assentes no recurso a blocos, livros ou outros objectos inanimados. No que toca a interacções, uma das fontes de maior dificuldade terá sido a interacção

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

bloco-homem. É elevado o número de alunos que não respeita a necessária simetria do par de forças que consubstanciam essa interacção. Talvez que isso tenha muito a ver com o facto de estar em jogo uma interacção entre um objecto "vivo" (o homem) e um objecto "não vivo" (o bloco). O carácter animista e antropomórfico de muitas ideias espontâneas de força pode assumir-se aqui como um adversário poderoso da ideia de não simetria.

Uma outra força bastante problemática, como se pode ver pelo quadro, foi a força de atrito no homem. Trata-se de uma situação em que o atrito, ao invés de "prejudicar" o movimento, o "promove" e torna possível. Foi também uma situação bastante discutida com os alunos do grupo experimental (ver Anexo 1). Apesar disso, um número significativo dos seus elementos continua a evidenciar sérios constrangimentos de aprendizagem face a esse tipo de atrito.

No cômputo global, e em termos de média de falhas por aluno, parece verificar-se uma ligeira vantagem do grupo experimental (1,8 falhas contra 1,9). Se atendermos às características potencialmente mais favoráveis da abordagem didáctica seguida nesse grupo, forçoso é concluir não ser essa diferença inequivocamente significativa. O que, quanto a nós, vale a pena realçar é a série de condicionantes cognitivas em jogo na representação vectorial de forças, uma tarefa de aprendizagem tantas vezes tomada como tacitamente simples e linear.

A esses constrangimentos cognitivos não é também alheia a dificuldade de os alunos delimitarem o *sistema físico* em estudo e de compreenderem que só contam para a explicação do estado dinâmico desse sistema as forças que nele realmente actuam. Como bem estamos lembrados, essa era

uma dificuldade perfeitamente diagnosticada no estado inicial, mas que aqui volta a fazer-se sentir na sua máxima pujança. São prova disso as respostas alternativas apresentadas à Questão 5 (ver matriz respectiva), grande parte das causas que estiveram na origem da multiplicidade de respostas à Questão 6.1 e, principalmente, as tipologias das argumentações propostas para a Questão 6.2: 12 alunos do grupo de controlo e 18 do grupo experimental fornecem para essa questão respostas e justificações alternativas em cuja génese aquela dificuldade está presente.

Questão 6.2 [referente à situação proposta em 6.1]

Comenta a seguinte afirmação: *o bloco move-se com velocidade constante porque a força que o homem nele exerce é exactamente igual em módulo, mas oposta, à força que o bloco exerce no homem.*

Orienta o teu comentário da seguinte forma: se achares que a afirmação é *correcta,* explica a razão; se achares que é *incorrecta,* explica por que o é e *corrige-a.*

Quadro 23

Caracterização das Falhas dos Alunos à Questão 6.2 de TRPQLpós

Natureza das Falhas	**C**	**E1**
A afirmação é correcta porque ...		
• ... ***se $F_{bloco} > F_{homem}$ o movimento seria acelerado.*** [Repare-se que o corpo em estudo é o bloco.]	—	1
• ... ***a força resultante será nesse caso nula e quando isso acontece a velocidade é constante.*** [Até poderia o aluno ter razão se a afirmação se reportasse às forças que actuam no bloco; só que a mesma se refere ao par de forças que caracterizam a interacção bloco-homem; e, como é evidente, só uma delas interessa para o caso.]	1	3

(continua)

• ... ***se a velocidade é constante, a resultante tem que ser igual a zero, as forças têm que se equilibrar.*** [Mas não a resultante daquelas duas forças!]	1	5
• ... ***essas duas forças constituem um par acção-reacção.*** [É óbvio que sim! Só que cada uma delas actua em seu corpo; só uma delas contribui, por isso, para a explicação do estado de movimento do bloco.]	6	2
• [RESPOSTA ATÍPICA].	4	7
A afirmação é incorrecta porque...		
• ... ***os módulos não são iguais; se fossem o corpo estaria em repouso.*** [Numa mesma resposta, os alunos fazem convergir duas das maiores dificuldades de aprendizagem desta matéria, já anteriormente repetidamente analisadas. São elas: a convicção de que força resultante nula é uma condição necessária e suficiente de repouso; e a associação à interacção entre dois corpos de um par de forças assimétricas.]	1	2
• ... ***Fbloco >F homem*** . [De novo a assimetria de que falávamos, agora sem referência `a velocidade.]	8	4
• ***... essas duas forças têm pontos de aplicação diferentes.*** [É verdade, é um princípio, mas insuficiente como explicação.]	1	—
• [RESPOSTA ATÍPICA].	2	—
Total de Falhas:	24	24
Média de Falhas :	**1,1**	**0,9**

Em síntese: o diagnóstico que acabámos de traçar dos conhecimentos qualitativos dos alunos, relacionados com aspectos científicos cruciais do binómio força-movimento, parece apontar para uma *ligeira vantagem do grupo experimental* comparativamente ao de controlo. Todavia, as enor-

mes dificuldades também evidenciadas por este grupo nalguns aspectos nucleares da estrutura desse binómio, apesar do treino sistemático e específico de que beneficiou, levam-nos a concluir ser essa ligeira vantagem apenas relativa.

Em termos absolutos, o que na realidade transparece desta radiografia final é a dificuldade intrínseca de muitas das concepções científicas aqui em jogo. Grande parte das categorias conceptuais espontâneas identificadas à partida continuam, agora à chegada, a fazer valer os seus direitos. A mudança conceptual, concebida como um objectivo realmente atingível, não deixa de parecer antes uma miragem.

Constrangimentos vários impedem que se actualize. E esses constrangimentos não se prendem apenas com aspectos imputáveis à esfera estrita do conhecimento conceptual. Pensamento e *linguagem* são igualmente vertentes a ter em conta. No que toca especificamente à linguagem, e dada a natureza argumentativa do teste que serviu de fonte à radiografia precedente, sentimos a curiosidade de analisar alguns aspectos da componente discursiva das respostas dos alunos. Com isso obtivemos o quadro que se segue:

Quadro 24

Características do Discurso dos Alunos: Algumas Insuficiências Marcantes

CARACTERÍSTICAS	C	E1
Discurso Correcto	**2**	**1**
Discurso Incorrecto:		
• Má construção frásica (falta de concordância entre o sujeito e o predicado; uso de "não frases"; má regência verbal, etc.).	5	24
• Dificuldades com os graus dos adjectivos	2	4

(continua)

• Omissão de palavras fundamentais	3	6
• Dificuldades na utilização de palavras de ligação lógica	2	11
• Desrespeito por regras básicas de pontuação	1	9
• Erros ortográficos graves	5	6
Total de Falhas:	18	60
Média de Falhas :	**0,8**	**2,0**

Numa análise que está muito longe de ser exaustiva, admitimos que uma parte significativa das dificuldades dos alunos nas argumentações formuladas tem muito a ver com o foro linguístico. E aí o grupo experimental aparenta encontrar-se em nítida desvantagem. E se supusermos, com Vygotsky, que pensamento e linguagem são duas componentes autonomizadas de um todo dialéctico, não poderemos deixar de admitir que, também ao nível das argumentações racionais, pudesse ser mais desvantajosa a posição do grupo experimental perante as tarefas que neste contexto lhe eram solicitadas. E sendo assim, talvez resida aí uma atenuante para o seu aparente insucesso (absoluto, que não relativo) nessas tarefas qualitativas, apesar do treino específico que lhe foi proporcionado..

Mudanças Quantitativas Globais

Seguiremos neste ponto uma metodologia análoga à que utilizámos para o estado inicial. Começaremos, assim, por apresentar, campo a campo[52], uma grande panorâmica (Quadro 25) do estado quantitativo de chegada.

Quadro 25

Estado de Chegada: Comparação por Campos de Análise

MANOVA	CAMPO	*lambda*	g.l.	p	DECISÃO
E1 ∝ C	*Nuclear*	0,53	(4;44)	0,00	E1>C
	da Exp.ª Metacognitiva	0,50	(11;36)	0,00	E1>C
	Afectivo	0,77	(2;40)	0,01	E1>C
E2 ∝ C	*Nuclear*	0,48	(3;36)	0,00	E2>C
	Afectivo	0,70	(2;49)	0,00	E2>C

Elaborámos também o Quadro 26, o qual pretende complementar o anterior, no que diz respeito a uma síntese das diferenças estatísticas entre os grupos; simultaneamente, esse quadro compara essas diferenças com as correlativas diferenças que se verificavam inicialmente.

---

[52] As variáveis dependentes que configuram cada campo são, respectivamente: TRPQTpós, TESTMpós, TRPQLpós e TMEC10 (pontualmente), para o CAMPO NUCLEAR; todos os indicadores (versão-pós) de experiência metacognitiva antes referenciados, para o campo correspondente; SATFQpós e ATRPFpós, para o CAMPO AFECTIVO.

Quadro 26

Estado de Partida versus *Estado de Chegada: Comparação por Campos de Análise*

	Campo Nuclear		Campo da Experiência Metacognitiva		Campo Afectivo	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
E1 ∝ C	=	≠	=	≠	≠	≠
E2 ∝ C	≠	≠			≠	≠

Podemos, para já, derivar as seguintes conclusões:

- Parece desenharem-se, em termos globais, reais progressos do Grupo E1 nos dois primeiros campos representados, quando o comparamos com o grupo de controlo. Na verdade, se no início do estudo os dois grupos eram estatisticamente equivalentes nos mesmos campos, no final do mesmo passam a ser significativamente diferentes, com inequívoca vantagem para o grupo experimental. No que toca ao terceiro campo (Afectivo), nada de conclusivo é possível de momento antecipar.

- Para o Grupo E2, os dados dos quadros precedentes não autorizam antevisões conclusivas no que tem a ver com eventuais diferenças face ao Grupo C.

Embora estejamos já de posse de alguma informação no que diz respeito ao impacte positivo (identificado em E1) da experiência, torna-se imprescindível introduzir *novos refinamentos na análise,* para que possamos recolher informação complementar. É o que tentaremos realizar a seguir, através dos dados consignados no Quadro 27, elaborado com base na aplicação de uma *análise da covariância multivariada* (MANCOVA), incidente sobre as variáveis dependentes em causa (operacionalizadas pelos respec-

tivos pós-testes), e tendo como *covariáveis* aquelas que são explicitadas no mesmo quadro.

O quadro em referência, estruturalmente idêntico ao Quadro 10 (caracterizador do estado inicial) e ao Quadro 25 (caracterizador do estado final), apresenta em relação a eles uma diferença importante. Ao invés de, como eles, comparar estados, compara agora transformações entre esses mesmos estados. Enquanto os primeiros têm por base estatística uma análise da variância — técnica que, como sabemos, estabelece comparações entre grupos em função de um dado estado (estático) — este é suportado por uma análise da covariância, a qual compara progressos entre um dado estado inicial (configurado pelos valores de determinadas covariáveis) e um dado estado final (configurado pelos valores de determinadas variáveis dependentes).

Quadro 27

Mudanças Relativas: Comparação por Campos de Análise

MANCOVA	CAMPO	*lambda*	g.l.	p	DECISÃO
E1 ∝ C	***Nuclear*** Covariáveis: TRPQTpré, TESTMpré, TRPQLpré, TFIS9 e TPLOG	0,41	(4;25)	0,00	**E1>C**
	da Exp.ª Metacognitiva Covariáveis: todos os indicadores iniciais correspondentes	0,42	(11;21)	0,03	**E1>C**
	Afectivo Covariáveis: SATFQpré e ATRPpré	0,88	(2;36)	0,09	**E1>C**

(continua)

E2 ∝ C	***Nuclear*** Covariáveis: TRPQTpré, TESTMpré e TRPQLpré	0,70	(3;30)	0,01	**E2>C**
	Afectivo Covariáveis: SATFQpré e ATRPFpré	0,75	(2;46)	0,00	**E2>C**

Combinando a informação que nos é fornecida por esses três quadros, é-nos possível extrair diversas conclusões importantes que, campo a campo, passaremos a explicitar e discutir.

Campo Nuclear da Resolução de Problemas

Ambos os grupos experimentais evidenciaram mudanças significativas relativamente ao grupo de controlo (Fig. 8). Essas mudanças são particularmente notórias no caso de E1. Na verdade, enquanto o Grupo E2 já à partida se destacava pela positiva do grupo de controlo, E1 não apresentava em relação a ele diferenças significativas: ambos eram estatisticamente equivalentes, equivalência essa que deixa claramente de verificar-se no estado de chegada. As metodologias distintas utilizadas com o grupo de controlo e com o Grupo E1 deverão, assim, ter implicado efeitos também eles distintos, no que toca a transformações realizadas. Como pode ver-se no gráfico da Fig. 8, construído com base na sobreposição de resultados obtidos nos respectivos pré-testes e pós-testes, esses efeitos beneficiam claramente o Grupo E1.

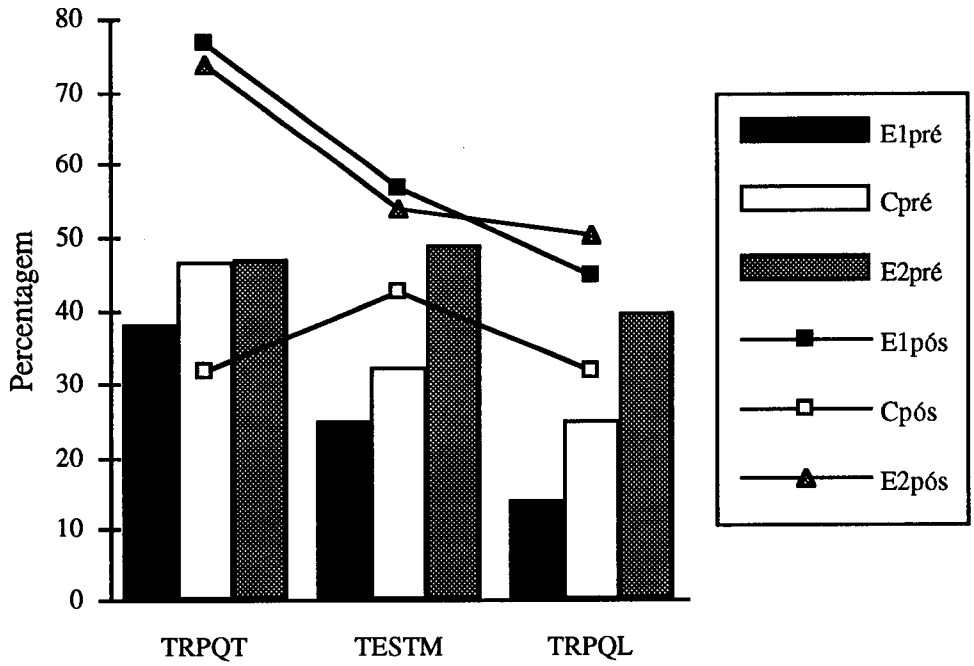


Fig. 8 — *Mudanças: Campo Nuclear da Resolução de Problemas*

Na verdade, o Grupo E1 distancia-se claramente do grupo de controlo nos pós-testes representados. Para além disso, em todos eles os resultados obtidos são claramente superiores aos obtidos nos pré-testes correlativos. No Grupo C, ao contrário, as diferenças *pré-pós* são muito menos pronunciadas, sendo mesmo negativas no caso de TRPQT. O Quadro 27 permite confirmar que, com efeito, as mudanças positivas ocorridas no Grupo E1 superam de forma muito significativa as verificadas no grupo de controlo.

Um dos objectivos da abordagem experimental que aplicámos parece, assim, e no âmbito deste campo categorial, ter tido pleno sucesso. Sucesso esse que emerge também no caso do outro grupo experimental. As mudanças ocorridas neste grupo, se o confrontarmos com as que se verificaram para E1, não são, porém, tão pronunciadas. Enquanto que nos pré-

-testes o Grupo E2 beneficiava de uma posição claramente destacada nas três variáveis, vê-se nos pós-testes ultrapassado por E1 em duas delas. A diferença relativamente ao grupo de controlo é, no que diz respeito a progressos, ainda claramente significativa, embora o grau de significância seja menor do que o manifestado por E1.

Para além de outros factores que poderão ter contribuído para essa diferença em termos da significância de progressos — a que não será alheia, por certo, a idiossincrasia de cada situação específica —, este aparente menor êxito do Grupo E2, quando comparado com E1 (à partida, menos bem preparado e com menores potencialidades), pode muito bem atribuir-se a duas causas importantes: primeiro, ao menor tempo de intervenção de que beneficiou; segundo, ao facto de a condução deste grupo — ou, mais exactamente, dos dois subgrupos que o constituem — ter sido assegurada pelos seus próprios professores e não pelo investigador. Existem sempre, como aliás é compreensível (inevitável mesmo) constrangimentos vários que impedem a transposição ideal dos modelos concebidos por um dado investigador para outros investigadores que com ele cooperem.

Podemos afirmar, em suma, com alguma margem de segurança, que, pelo menos no que se prende com este campo de intervenção na resolução de problemas de física, os objectivos da experiência parecem ter sido conseguidos e as hipóteses de trabalho a eles associadas aparentemente confirmadas.

Campo da Experiência Metacognitiva

A situação é em tudo idêntica à que ocorria no caso anterior para os dois grupos que intervêm neste campo (E1 e C). O Grupo E1, estatisticamente equivalente a C (como antes acontecia), obtém agora, no estado final, e no todo do campo, resultados médios significativamente mais elevados. Para analisarmos o sentido dessas mudanças, consultemos o gráfico da Fig. 9:

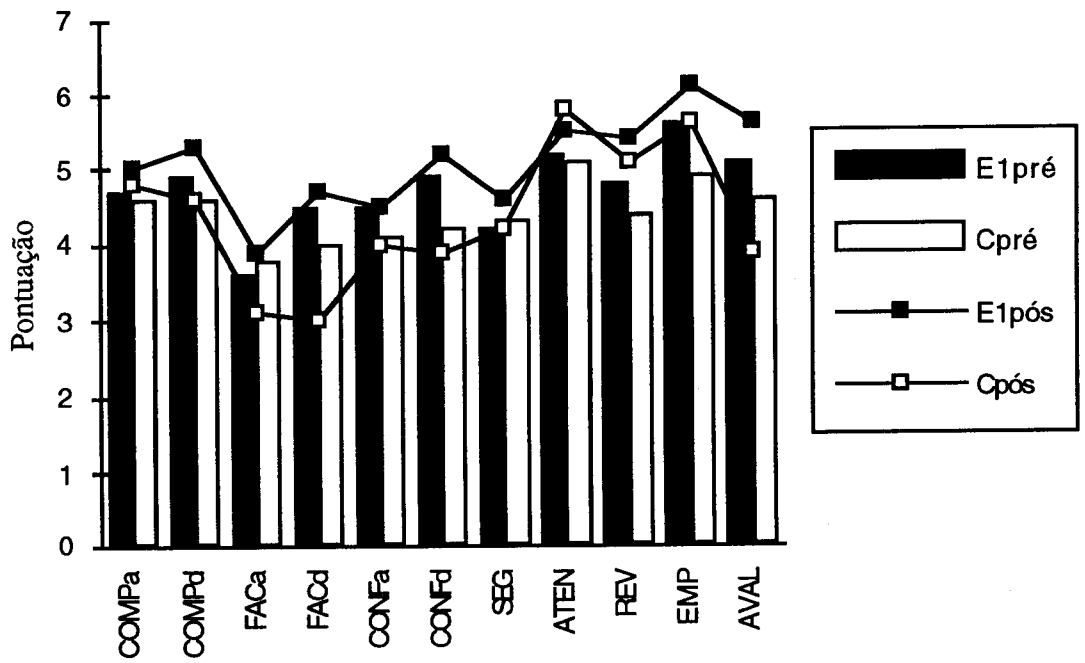


Fig. 9 — *Mudanças: Campo da Experiência Metacognitiva*

Como o gráfico comprova, as mudanças ocorridas no Grupo E1 são, na grande generalidade, positivas. Em praticamente todos os indicadores figurados, este grupo obtém resultados médios mais elevados nos pós-testes. O grupo de controlo, em contrapartida, desce nuns e sobe noutros: no cômputo global terá mantido a sua posição inicial. Essa situação aponta, portanto, para a existência de mudanças significativas e positivas a favor de E1, facto que é plenamente confirmado no Quadro 27.

Quer dizer: a transformação metacognitiva experimentada no complexo de indicadores aqui em causa, parece ter sido bem mais pronunciada no grupo experimental do que no de controlo. Apesar da diferença entre os grupos neste campo não ser, em termos de significância, tão acentuada como no campo precedente, ela é, ainda assim, nitidamente significativa. Também aqui as hipóteses previamente formuladas parecem encontrar suporte validativo.

Campo Afectivo

As diferenças estatísticas exibidas à partida, tanto por E1 como por E2, comparativamente a C, continuam a verificar-se no final da experiência (Fig. 10):

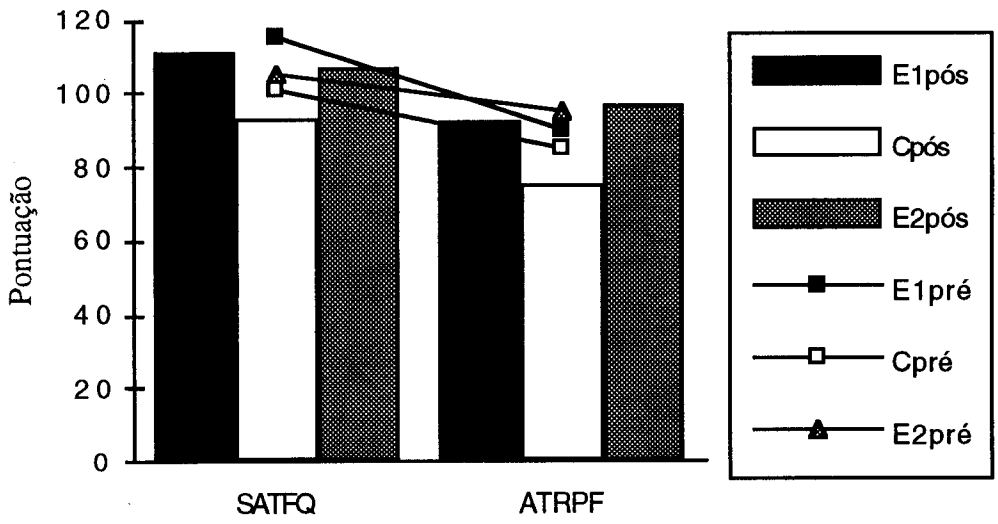


Fig. 10 — *Mudanças: Campo Afectivo*

Mas enquanto que para os campos anteriores as mudanças tendiam a ser positivas para os grupos experimentais, neste caso a situação altera-se

parcialmente. Só no caso da variável ATRPF essa continua a ser, genericamente, a regra. No que diz respeito a SATFQ, verifica-se agora uma descida para ambos (mudança negativa), ligeiramente mais acentuada em E2. Dado que o grupo de controlo desce significativamente em ambos os testes, as diferenças entre ele e os grupos experimentais deverão, em termos de transformações neste campo, ser significativas, sendo esse facto também comprovado pelos valores inseridos no Quadro 27.

Em traços globais, pode afirmar-se que a metodologia seguida pelo grupo de controlo (abordagem tradicional) terá produzido efeitos negativos indiscutivelmente pronunciados na dimensão afectiva do seu comportamento, face à aprendizagem e à resolução de problemas de física. Nos grupos experimentais, a metodologia que lhes foi aplicada não terá, em média, implicado grandes mudanças no que tem a ver com a mesma dimensão. De qualquer modo, e em termos relativos, parece haver razões para suspeitar que também na vertente afectiva do estudo a metodologia experimental terá provado ser comparativamente mais favorável do que a metodologia tradicional.

As conclusões até aqui derivadas parecem apontar, em suma, para uma clara validação do corpo fundamental das hipóteses-guia do nosso estudo. Essa validação atinge os seus pontos máximo e mínimo, respectivamente no campo nuclear do estudo e no campo afectivo. Uma análise mais fina, visando agora o comportamento variável a variável, permitirá por certo encontrar suporte que autorize uma decisão mais fundamentada a esse respeito. Será essa a finalidade básica do ponto que se segue.

Mudanças Quantitativas Diferenciais

Tal como avançámos no parágrafo precedente, vamos agora aumentar um pouco mais o poder discriminativo da análise. Trata-se de comparar o que aconteceu, já não em termos da globalidade de cada campo, mas em termos da individualidade de cada uma das suas variáveis dependentes constituintes.

Analogamente ao efectuado aquando da caracterização do estado inicial, iremos começar por comparar cada grupo consigo próprio, no que toca a mudanças experimentadas em cada variável dependente. Vamos contudo fazê-lo de uma forma visualmente diferente, por nos parecer ela mais adequada e ilustrativa neste contexto. Observemos, então, o Quadro 28, desenhado com base na aplicação do teste *t* de Student aos resultados obtidos por cada grupo nos pré-testes e nos pós-testes de cada variável individualmente considerada. Para a interpretação desse quadro, é fundamental atender ao código de sinais que o antecede.

Código Para a Leitura do Quadro 28

DIFERENÇA	Não Significativa	Pouco Significativa	Significativa	Muito Significativa
Positiva	⇧	⇧	⇧	⇧
Negativa	⇩	⇩	⇩	⇩
Nula	⇨			

Quadro 28

Comparação Diferencial Intragrupos

Teste *t*	E1	C	E2
TRPQT	⬆	⬇	⬆
TESTM	⬆	⬆	⇧
TRPQL	⬆	⇧	⬆
COMPa	⇧	⇧	
COMPd	⬆	⇨	
FACa	⇧	⬇	
FACd	⇧	⬇	
CONFa	⇨	⇩	
CONFd	⇧	⇩	
SEG	⬆	⇩	
ATEN	⬆	⬆	
REV	⬆	⬆	
EMP	⬆	⬆	
AVAL	⬆	⬇	
SATFQ	⇩	⬇	
ATRPF	⇧	⬇	

A representação visual que escolhemos para o Quadro 28 permite de imediato fazer ressaltar importantes regularidades. O reflexo dessas regularidades nos progressos relativos por variável pode ser avaliado, em termos de significância estatística, na informação veiculada pelo Quadro 29. Este quadro deriva da aplicação de uma *análise da covariância*

simples aos pós-testes de cada uma dessas variáveis, funcionando os respectivos pré-testes como covariáveis.

Quadro 29

Comparação Diferencial Intergrupos

ANCOVA	VARIÁVEL	*F*	g.l.	p	DECISÃO
E1 ∝ C	*TRPQT*	44,87	(1;44)	0,00	**E1>C**
	TESTM	22,14	(1;44)	0,00	**E1>C**
	TRPQL	12,12	(1;39)	0,00	**E1>C**
	COMPa	0,14	(1;42)	0,71	E1 = C
	COMPd	4,19	(1;41)	0,00	**E1>C**
	FACa	9,03	(1;42)	0,00	**E1>C**
	FACd	17,01	(1;41)	0,00	**E1>C**
	CONFa	2,41	(1;42)	0,13	E1 = C
	CONFd	8,87	(1;41)	0,00	**E1>C**
	SEG	4,18	(1;44)	0,00	**E1>C**
	ATEN	0,85	(1;44)	0,36	E1 = C
	REV	0,42	(1;44)	0,52	E1 = C
	EMP	1,44	(1;44)	0, 23	E1 = C
	AVAL	16,71	(1;44)	0,00	**E1>C**
	SATFQ	5,40	(1;40)	0,00	**E1>C**
	ATRPF	9,34	(1;42)	0,00	**E1>C**
E2 ∝ C	*TRPQT*	34,54	(1;39)	0,00	**E2>C**
	TESTM	0,66	(1;39)	0,42	E1 = C
	TRPQL	2,77	(1;49)	0,10	E1 = C
	SATFQ	7,74	(1;56)	0,00	**E2>C**
	ATRPF	12,87	(1;48)	0,00	**E2>C**

• *Nota: = significa que os grupos se equivalem quanto à transformação em causa; > que essa transformação é mais favorável (ou menos desfavorável) no primeiro do que no segundo grupo.*

Grupo C

Do estado inicial para o estado final, o grupo de controlo evidencia um comportamento marcado pela irregularidade: sobe numas variáveis, desce noutras e mantém a mesma posição numa terceira. Mais concretamente, o comportamento do grupo é basicamente o seguinte:

- **Campo nuclear.** Sobe em duas variáveis (TRPQL, com subida não significativa e TESTM, com subida muito significativa) e desce na terceira (TRPQT, com descida muito significativa).

- **Campo da experiência metacognitiva**. Sobe em quatro das variáveis (subidas com diversos níveis de significância), desce em seis (a vários níveis de significância, mas com particular ênfase nos dois indicadores que têm a ver com a *facilidade declarada* perante a tarefa problemática enfrentada) e mantém a sua posição absoluta numa outra.

- **Campo afectivo.** Trata-se do único campo em que a regularidade predomina. Ela é marcada por descidas pronunciadas em ambas as variáveis, adquirindo a descida especial significado na variável SATFQ.

Grupo E1

Contraposta à irregularidade do grupo de controlo, está a regularidade quase total de E1. Comparado consigo próprio, este grupo apresenta subidas absolutas em quase todas as variáveis. Exceptuam-se apenas a variável CONFa (em que praticamente não se verifica alteração) e a variável SATFQ (em que desce ligeiramente, embora essa descida não seja signifi-

cativa). As subidas são particularmente notórias (muito significativas) para o caso das três variáveis do campo nuclear do estudo. Este facto está em clara sintonia com o grande salto qualitativo antes detectado neste grupo para o conjunto de factores que consubstanciam esse campo.

Tal comportamento regular, e tendo em conta o comportamento claramente mais desfavorável do grupo de controlo, traduz-se em diferenças estatísticas consideráveis a favor de E1, no que toca às transformações ou mudanças verificadas entre o estado inicial e o estado final. Tais mudanças relativas são assim caracterizadas (Quadro 29):

- **Campo nuclear.** As mudanças relativas são bastante significativas em todas as variáveis que encorporam este campo. Isto é: quer integral quer diferencialmente, o sucesso da experiência no Grupo E1 é altamente significativo, tanto quando o comparamos consigo próprio, como quando o comparamos com o grupo de controlo.

- **Campo da experiência metacognitiva**. Mais de 50% das mudanças aqui ocorridas são altamente significativas, se comparadas com as transformações correlativas verificadas no grupo de controlo. Vale a pena chamar a atenção para o caso especial dos indicadores que têm a ver com a *facilidade declarada.* Enquanto neste grupo se verifica uma ligeira subida nestes indicadores, no caso do grupo de controlo existe, ao contrário, uma descida marcante (bastante significativa).

  Esse facto poderá fornecer-nos alguma indicação no que tem a ver com o sentimento evidenciado por ambos os grupos perante a mesma situação problemática: tudo indica que o Grupo E1 tendia a ficar afectivamente menos constrangido do que o grupo de con-

trolo. Esse menor constrangimento, para além dos reflexos cognitivos que possa ter, tem também claros reflexos afectivos no que toca ao sentimento de segurança (ou insegurança) face às estratégias de resolução implementadas e às soluções encontradas. Do Quadro 29, inferimos ser bastante significativa, e claramente favorável a E1, a diferença quanto a esse aspecto: é nitidamente mais elevado o grau de segurança expressamente declarado pelo Grupo E1, relativamente ao que foi expresso pelo grupo de controlo.

Apesar de, como antes dissemos, termos tido a preocupação de, em casos pontuais, apresentar aos alunos do grupo de controlo problemas com enunciados extensos, isso não terá sido suficiente para evitar aqueles constrangimentos. Tal precaução poderá ter atenuado as condicionantes cognitivas e afectivas impostas pela estrutura superficial do enunciado, mas não as que se prendiam com a sua estrutura profunda. Essas só um treino intensivo e sistemático — aquele que foi proporcionado ao grupo experimental, com base em fichas de trabalho apropriadas — o poderá assegurar.

- **Campo afectivo.** As mudanças relativas observadas são significativas para as duas variáveis que definem o campo afectivo, embora na variável SATFQ tal mudança tenha sentido negativo — aliás, é de todas as mudanças relativas deste grupo, a única em que isso acontece —, sendo, de qualquer modo, a descida menos pronunciada do que no caso do grupo de controlo.

Grupo E2

Nas variáveis em que existe intersecção de dados recolhidos, este grupo, comparado consigo próprio, evidencia um comportamento globalmente semelhante ao evidenciado pelo Grupo E1. Como este, sobe em todas as variáveis do campo nuclear. Mas enquanto a subida experimentada por E1 é muito significativa nas três variáveis, neste outro grupo experimental ela só adquire significado estatístico no caso das variáveis TRPQL e TRPQT. No que tem a ver com a variável TESTM, trata-se apenas de uma subida em valor absoluto.

O Caso Especial de Dois Alunos do Grupo de Controlo

Pareceu-nos útil e interessante investigar de perto o caso dos dois alunos do grupo de controlo a que nos referimos anteriormente, a propósito das suas elevadas aptidões e capacidades para a aprendizagem da física. Decidimos, então, comparar (Fig. 10 e Fig. 11) a sua posição relativa, quer no início quer no final do estudo, relativamente tanto ao seu próprio grupo como ao grupo experimental, e no que diz respeito a variáveis do campo nuclear da pesquisa.

Conforme podemos verificar, no início do estudo os resultados obtidos por esses alunos destacavam-se claramente dos resultados médios de qualquer dos grupos, em todas as variáveis, com especial ênfase para o pensamento lógico (ambos obtiveram 100%). Foi essencialmente este último

facto que nos levou a especular a favor da hipótese de esses alunos beneficiarem à partida de aptidões, capacidades e também conhecimentos que os capacitavam particular e diferencialmente para a aprendizagem e para a resolução de problemas de física.

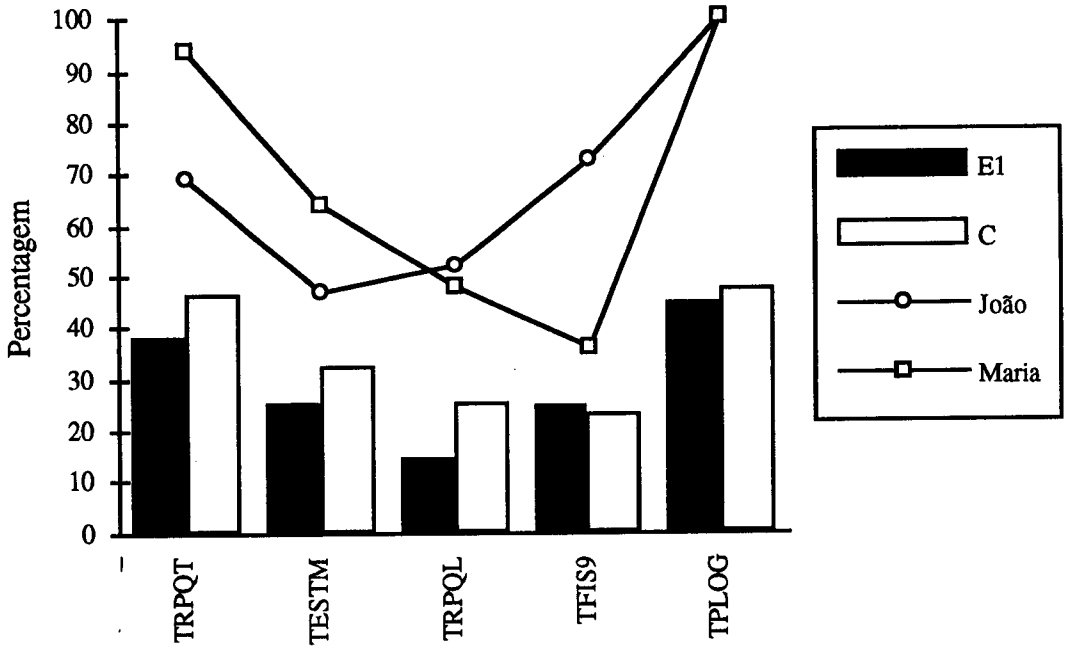


Fig. 10 — *O Caso Especial de Dois Alunos do Grupo de Controlo: Estado Inicial*

Aquela previsão colhe algum suporte quando se observa o gráfico comparativo referente ao estado de chegada (Fig. 11). Na variável TRPQL, ambos os alunos aumentam o seu distanciamento relativamente ao valor médio atingido por qualquer dos grupos; destacam-se ainda mais do seu próprio grupo na variável TRPQT (onde obtêm também 100% no pós-teste), ficando acima da média do grupo experimental, apesar da subida pronunciada que nesta variável este grupo revelou. No caso da variável TESTM, a situação é parcialmente diferente: embora ambos os alunos tenham experimentado progressos, e continuem destacados do seu grupo, um deles, o João vê-se alcançado pelo grupo experimental.

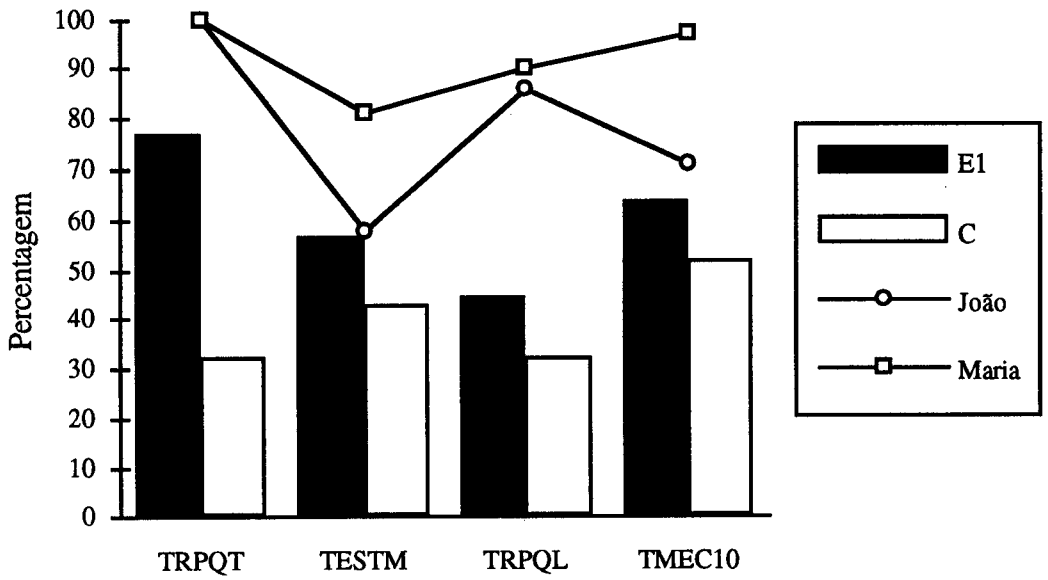


Fig. 11 — *O Caso Especial de Dois Alunos do Grupo de Controlo: Estado Final*

Eventuais Preditores das Mudanças

Pensamento Lógico

Os grupos E1 e C eram, como já verificámos, estatisticamente equivalentes no que tem a ver com as classificações obtidas pelos seus elementos nesta variável cognitiva. Muito embora equivalentes, podia acontecer que tal variável tivesse interferido de modo diferenciado (e uma tal assunção foi por nós admitida previamente) com as abordagens também diferenciadas adoptadas num e noutro caso. Na tentativa de pesquisar em que medida tal assunção era ou não empiricamente verificada, empreendemos uma série de análises estatísticas que passaremos a descrever.

Começámos essa série de análises pela detecção de possíveis correlações entre o pensamento lógico e os resultados de cada grupo nos pós-testes. Não consideramos aqui a busca de correlações no grande grupo E1+C; tratando-se como se trata de pós-testes, tal correlação careceria de sentido, dada a história diversa dos seus subgrupos constituintes.

Há que dizer, por outro lado, que estas correlações têm apenas valor indicativo e heurístico (guias na busca de hipóteses e regularidades), uma vez que o pensamento lógico e os pós-testes são medidos em momentos diferentes. Embora não nos inclinemos muito para que tal se tenha verificado — até por conhecermos muito bem os sujeitos em causa — é sempre de admitir a hipótese de o nível dos alunos no pensamento lógico ter evoluído, do início para o final da experiência, em resultado quer de maturação quer mesmo de novas aprendizagens realizadas, de novos conhecimentos construídos e assimilados. Dessa pesquisa de correlações, derivámos a informação presente no Quadro 30:

Quadro 30

Correlações do Pensamento Lógico com Diversas Variáveis Dependentes

r de Pearson	TRPQT	TESTM	TRPQL	TMEC10	SATFQ	ATRPF
E1	0,07	0,05	0,58***	0,26	0,50**	0,63***
C	0,61***	0,50**	0,53**	0,66***	0,21	0,39*

Pouco Significativo* ***Significativo* ** Muito Significativo*

Tendo em conta as variáveis associadas ao domínio da cognição e da metacognição, enquanto no Grupo E1 apenas se verifica correlação com significado estatístico para o caso de TRPQL, no grupo de controlo isso acontece em todas as variáveis desse domínio. Pode, talvez, admitir-se que

o menor número de correlações significativas detectadas em E1 se deva ao facto de os efeitos da experiência se sobreporem aos efeitos do pensamento lógico, nomeadamente nos alunos com níveis mais reduzidos nesse tipo de variável. No grupo de controlo, em virtude da abordagem nele seguida, mais de tipo convencional (mais abstracta e formal), não se terá feito sentir tanto a minimização das condicionantes impostas pelo pensamento lógico.

Pensando, desta vez, nas variáveis de tipo afectivo, destaca-se a correlação significativa em ambas as variáveis no caso do Grupo E1. Tendo em vista o sinal positivo das correlações figuradas, parece, desse modo, haver razões para supor terem sido diferenciadas as reacções afectivas dos alunos deste grupo à experiência: terão, provavelmente, reagido mais favoravelmente os alunos de pensamento lógico mais elevado e menos favoravelmente os outros.

No grupo de controlo nada nos autoriza a avançar sequer esse tipo de inferência especulativa, a não ser para a variável ATRPF. Lembrando-nos nós que este grupo apresenta descidas consideráveis nestas duas variáveis — o que indicia uma reacção globalmente negativa à abordagem tradicional —, parece legítimo pensar que tal reacção terá sido genericamente idêntica, independentemente de se tratar de alunos com baixos índices no pensamento lógico ou o oposto.

Apesar da natureza especulativa das suposições anteriormente aduzidas, a plausibilidade da hipótese que prevê que o pensamento lógico possa ser uma variável moderadora neste estudo, parece, ainda assim, encontrar nelas algum suporte. No intuito de confirmar até que ponto essa hipótese é ou não validada, vamos agora explorar um campo diferente: aquele que

se prende com a relação do pensamento lógico com as mudanças relativas ocorridas.

Influência do pensamento lógico nas transformações do campo nuclear da resolução de problemas. Aproveitando as saídas de dados resultantes das análises de covariância simples associadas ao Quadro 29, nas quais o pensamento lógico intervém como uma das covariáveis em jogo, decidimos construir o Quadro 31. Os valores que o compõem permitem-nos, por um lado, com base no quadrado do *coeficiente de regressão múltipla* (R^2), estudar a contribuição conjunta de todas as covariáveis para a variância total da variável dependente em causa; por outro lado, e tendo em vista o valor dos pesos β (coeficientes de regressão estandardizados), os valores do quadro fornecem indicações acerca do sentido, do valor e da significância da contribuição específica do pensamento lógico para a variância nessa variável.

Quadro 31

Resultados de Regressão Múltipla nas Variáveis do Campo Nuclear

Regressão Múltipla	TRPQT	TESTM	TRPQL	TMEC10
CONJUNTO DAS COVARIÁVEIS	R = 0,49 R^2 = 0,24 25% da variância	R = 0,51 R^2 = 0,26 26% da variância	R = 0,67** R^2 = 0,45 45% da variância	R = 0,60** R^2 = 0,35 35% da variância
PENSAMENTO LÓGICO	β = 0,28 p = 0,226	β = 0,35 p = 0,125	β = 0,30 p = 0,124	β = 0,44 ** p = 0,041

** *Significativo*

Analisemos, então, para cada variável dependente, a informação proporcionada pelo quadro anterior:

TRPQT. A totalidade das covariáveis explica apenas 25% da variância nesta variável dependente, sendo essa contribuição não significativa. O restante será devido a outros efeitos não controláveis pelo conjunto de covariáveis utilizadas. Algo de idêntico se passa com a contribuição específica do pensamento lógico: o coeficiente β, apesar de positivo, não resultou significativo, não se aproximando sequer de uma significância marginal.

TESTM. Para esta variável, a situação é muito semelhante à anterior. Apenas difere no facto de o coeficiente β respectivo se aproximar de um grau de significância marginal.

TRPQL. Neste caso, a variância conjunta explicada sobe para 45%, não sendo, mesmo assim, significativa. No que tem a ver com a contribuição específica do pensamento lógico para as diferenças verificadas, mais uma vez essa contribuição prova ser não significativa.

TMEC10. A situação aqui é diversa: quer a proporção de variância explicada por todas as covariáveis (36%) quer o coeficiente de regressão β ambos se revelam significativos. Trata-se do único caso em que existe alguma legitimidade para admitir que a variável pensamento lógico possa funcionar como um preditor razoável do desempenho numa variável dependente do estudo.

Atendendo a que a esta última variável corresponde um teste em que não é tão acentuada a situação de desigualdade entre os dois grupos em confronto, decidimos avançar um pouco mais no estudo da qualidade do pensamento lógico como preditor do desempenho nesse mesmo teste.

Classificámos, então, os alunos de ambos os grupos, no que toca ao pensamento lógico, em duas categorias: SUPERIOR e INFERIOR, conforme esses alunos tinham obtido uma pontuação no teste de pensamento lógico superior ou inferior à mediana do grupo global. Aplicámos depois uma análise de variância (Quadro 32), funcionando como variável dependente TMEC10 e como variáveis independentes o GRUPO e TPLOG.

Quadro 32

Efeito do Pensamento Lógico em TMEC10

EFEITO	*F* (1;44)	p
GRUPO (A)	5,50	**0,023**
PENSAMENTO LÓGICO (B)	6,36	**0,015**
AB	0,69	**0,409**

Quadro 33

Tabela de Incidências do Pensamento Lógico em TMEC10

	TPLOG:	SUP	INF	TOTAIS:
GRUPO	E1	13 67,2	12 59,2	25 63,4
	C	11 60,9	12 44,2	23 51,8
TOTAIS:		24 64,0	23 51,8	48 57,8

Conjugando a informação presente em ambos os quadros, concluímos serem significativas as diferenças entre ambas as categorias do pensamento lógico na variável TMEC10 (uma diferença de cerca de 12 pontos a beneficiar a categoria SUPERIOR). A interacção TPLOG-GRUPO não provou, contudo, ser significativa. De qualquer modo, observa-se, por um lado, que a categoria SUPERIOR obtém em ambos os grupos as classificações

mais elevadas; por outro, as diferenças intergrupos para a mesma categoria, não sendo significativas, tendem, contudo, a favorecer o Grupo E1. A diferença entre ambos os grupos para o caso da categoria INFERIOR é razoavelmente acentuada (15 pontos); isso pode significar ter o efeito da experiência conseguido atenuar no caso de E1 (mais do que no de C) e no que diz respeito aos sujeitos enquadráveis na categoria INFERIOR, possíveis condicionantes impostas pelas correlativas insuficiências imputáveis a esses alunos no pensamento lógico.

Os resultados antes apresentados e discutidos não são, porém, conclusivos: nem nos permitem rejeitar definitivamente a hipótese relativa à influência do pensamento lógico na aprendizagem e na resolução de problemas de física; nem nos legitimam a tomá-la como inequivocamente validada. Inclinamo-nos, contudo, a pensar que, tendencialmente, o prato da balança pende mais para a segunda opção. Se é verdade que os coeficientes β eram quase todos não significativos, também é inquestionável que todos eles eram positivos e que os que não eram significativos se aproximavam (pelo menos dois deles) de uma significância marginal. Estamos assim convictos de que vale a pena em estudos posteriores, agora com outra dimensão de amostras, prosseguir estudos mais focalizados, no sentido de apurar este tipo de conclusões.

Influência do pensamento lógico nas transformações do campo afectivo. Paralelamente ao adoptado para TMEC10, aplicámos análises da variância a ambas as variáveis dependentes que representam o campo afectivo. Obtivemos, desse modo, os dados de saída em baixo indicados (Quadro 34 e Quadro 35):

Quadro 34

Efeito do Pensamento Lógico em SATFQ

EFEITO	*F* (1;39)	p
GRUPO (A)	3,01	0,09
TPLOG (B)	0,00	0,97
AB	0,00	0,99

Quadro 35

Tabela de Incidências do Pensamento Lógico em SATFQ

	TPLOG:	SUP	INF	TOTAIS:
GRUPO	E1	12 - 3,6	11 - 3,4	23 - 3,5
	C	10 - 9,9	10 - 9,8	20 - 9,8
TOTAIS:		22 - 6,4	21 - 6,5	43 - 6,5

Quer o efeito do pensamento lógico quer o seu efeito conjugado com o GRUPO são ambos definitivamente desprezáveis, no que diz respeito à variável SATFQ: não existe praticamente diferença entre as médias evidenciadas por categorias distintas de um mesmo grupo, nem entre as que foram reproduzidas por grupos diferentes para a mesma categoria.

Constatamos, também, não ser significativo (Quadros 36 e 37) o efeito diferencial do pensamento lógico na outra variável afectiva (ATRPF). Ambas as categorias SUPERIOR e INFERIOR tendem a experimentar mudanças negativas em ambos os grupos, mudanças essas que afectam sobretudo a categoria INFERIOR (-7,3 contra -0,8).

Quadro 36

Efeito do Pensamento Lógico em ATRPF

EFEITO	*F* (1;39)	p
GRUPO (A)	5,11	**0,030**
TPLOG (B)	1,28	**0,266**
AB	0,07	**0,786**

Quadro 37

Tabela de Incidências do Pensamento Lógico em ATRPF

	TPLOG:	SUP	INF	TOTAIS:
GRUPO	E1	13 3,5	11 - 1,0	24 1,4
	C	9 - 6,9	10 - 14,2	19 - 10,7
TOTAIS:		22 - 0,8	21 - 7,3	43 - 4,0

Dificuldade a CFQ Previamente Declarada

Verificámos, noutro local, que o pensamento lógico apresentava um grau de associação bastante significativo com a variável DIFCFQ. Os alunos que, no início do ano lectivo, haviam afirmado ter dificuldades a CFQ, tendiam a evidenciar níveis de pensamento lógico mais reduzidos, verificando-se o oposto para aqueles que não haviam feito essa afirmação espontânea. Em consonância com o que a esse respeito então desenvolvemos, vamos agora investigar até que ponto esta variável categorial pode ou não constituir um bom preditor das transformações operadas nos alunos devidas à intervenção.

Campo nuclear. Fazendo incidir uma análise da variância sobre as variáveis dependentes que tipificam este campo no caso do par E1-C, e em que as covariáveis são as que temos vindo a utilizar para este caso específico, obtivemos os valores incorporados no Quadro 38:

Quadro 38

Efeito Global da Variável DIFCFQ no Campo Nuclear

MANOVA				
Efeito	**lambda**	**g.l.$_A$**	**g.l.$_B$**	**p**
GRUPO (A)	0,37	4	23	**0,00*****
DIFCFQ (B)	0,80	4	23	**0,26**
AB	0,75	4	23	**0,14**

*** *Muito Significativo*

Nem o efeito DIFCFQ nem o efeito INTERACÇÃO (AB) resultam significativos — embora o efeito interactivo se aproxime bastante de uma significância residual (ou de uma "quase significância"). Tornando a análise mais fina, uma análise de covariância simples, tendo por alvo cada uma das variáveis dependentes que configuram o campo aqui em causa, produziu os efeitos consignados nos quadros em baixo indicados.

Quadro 39

Efeito Diferencial da Variável DIFCFQ no Campo Nuclear

ANCOVA	DIFICULDADE		INTERACÇÃO	
Variável	***F* (1;26)**	**p**	***F* (1;26)**	**p**
TRPQT	1,93	**0,176**	3,83	**0,061***
TESTM	1,33	**0,477**	1,80	**0,191**
TRPQL	5,42	**0,028****	0,52	**0,479**
TMEC10	0,52	**0,258**	0,67	**0,817**

Apenas prova ser significativo o efeito DIFCFQ na variável TRPQL. Tendo em vista o efeito INTERACÇÃO, apenas no caso da variável TRPQT esse efeito pode ter algum significado (0,1>p>0,5). Isso significa que o comportamento dos alunos, com um dado nível declarado de dificuldade, pode resultar diferente num grupo face ao outro e no que se prende com essa variável. O Quadro 40 ajuda-nos a esclarecer essa questão:

Quadro 40

Efeito Diferencial de DIFCFQ no Campo Nuclear: Quadro de Médias

	DIFCFQ	TRPQUT	TESTM	TRPQL	TMEC10
E1	*SIM*	82,3	63,3	36,4	60,4
	NÃO	82,9	63,9	59,2	72,2
C	*SIM*	17,0	36,1	25,0	48,4
	NÃO	44,7	43,9	37,7	56,2

Verifica-se, na verdade, que enquanto no grupo de controlo os alunos que não declararam dificuldades obtêm na resolução de testes de problemas quantitativos resultados claramente superiores aos dos seus colegas que as declararam, no caso do Grupo E1 já tal se não verifica. Aí, ambas as categorias de alunos se comportam de modo idêntico, obtendo resultados médios significativamente elevados. Consideramos importante esta constatação, por poder ela apoiar o que era à partida um dos grandes objectivos da nossa intervenção: a pesquisa de estratégias tendentes a minimizar as dificuldades dos alunos na resolução de problemas de física. Essa meta parece ter tido consecução no grupo que foi alvo de uma tal estratégia, isto é, no grupo experimental.

É ainda a esse respeito interessante analisar o que acontece com a variável TESTM. A situação é semelhante à anterior: não sendo significativo, o nível p é, ainda assim, relativamente baixo. No grupo experimental, ambas as categorias de alunos obtêm praticamente o mesmo resultado médio; no grupo de controlo isso já não acontece.

Campo afectivo. Conforme estabelece o Quadro 41, é significativo o efeito da variável DIFCFQ no campo afectivo.

Quadro 41
Efeito Global de DIFCFQ no Campo Afectivo

MANOVA				
Efeito	**lambda**	**g.l.A**	**g.l. B**	**p**
GRUPO (A)	0,76	2	34	**0,01 ****
DIFCFQ (B)	0,77	2	34	**0,01 ****
AB	0,92	2	34	**0,24**

** *Significativo*

O estudo desse efeito pode ser mais explorado através do seguinte quadro de médias (relativas ao grande grupo):

Quadro 42
Efeito Diferencial de DIFCFQ no Campo Afectivo: Quadro de Médias

DIFCFQ	**SATFQ** *pré*	**ATRPF** *pré*	**SATFQ** *pós*	**ATRPF** *pós*
SIM	**102,8**	**82,3**	**92,1**	**76,7**
NÃO	**115,9**	**93,3**	**112,6**	**90,1**

Os alunos da categoria NÃO produzem valores mais elevados, quer no caso dos pré-testes, quer no dos pós-testes. Por outro lado, as duas categorias de alunos descem em ambos os testes do início para o final da intervenção. Os alunos NÃO têm, no entanto, descidas menos apreciáveis do

que os seus colegas. Daí ser significativa a diferença de comportamento de uns e outros neste campo de variáveis. A descida é mais pronunciada para o teste SATFQ, como pode ser comprovado pelo Quadro 43, referente aos efeitos específicos da variável DIFCFQ, em cada uma das variáveis do campo afectivo:

Quadro 43
Efeito Diferencial de DIFCFQ no Campo Afectivo

ANCOVA	DIFICULDADE		INTERACÇÃO	
Variável	***F* (1;35)**	**p**	***F* (1;35)**	**p**
SATFQ	10,70	**0,00 *****	1,74	**0,19**
ATRPF	1,10	**0,31**	2,25	**0,14**

**** Muito Significativo*

Não se verifica interacção DIFCFQ-GRUPO em qualquer das variáveis; o que significa que em cada uma dessas dimensões do campo afectivo os alunos de uma e outra categoria tiveram comportamento estatisticamente idêntico.

Estilos Epistémicos

A concluir este ponto, vamos prosseguir a investigação quanto à influência dos estilos epistémicos, pensando, desta vez, nos efeitos diferenciados que a mesma possa implicar nos progressos relativos dos alunos. Mais uma vez utilizaremos apenas dados respeitantes aos estilos empírico e metafórico. Começámos, nesse sentido, por estudar a ocorrência desse tipo de efeitos no campo nuclear da resolução de problemas.

Campo nuclear. Com a finalidade de dar consecução ao objectivo a que nos propusemos neste local, efectuámos uma análise de covariância multivariada, envolvendo o seguinte conjunto de variáveis: GRUPO e ESTILO, como variáveis independentes; TRPQLpós, TRPQTpós, TESTMpós e TMEC10, como variáveis dependentes; TPLOG, TFIS9, TRPQLpré, TRPQTpré e TESTMpré, como covariáveis. Elaborámos, subsequentemente, o Quadro 44.

Quadro 44
Efeito Global dos Estilos Epistémicos no Campo Nuclear

MANCOVA

Efeito	*lambda*	g.l.$_A$	g.l.$_B$	p
GRUPO (A)	0,46	4	21	0,00***
ESTILO (B)	0,95	4	21	0,87
AB	0,90	4	21	0,67

*** *Muito Significativo*

Quer o efeito do ESTILO quer o da interacção ESTILO-GRUPO não resultam significativos no cômputo global deste campo. Quer isso dizer que nem a variável ESTILO introduz diferenças significativas no conjunto de todos os alunos investigados, nem o efeito combinado dessa variável é em cada grupo significativamente diferente em ambos os estilos.

Não parece assim de admitir que um dado estilo tenha sido, em concreto, mais sensível a uma dada metodologia do que o outro. Os dados de que dispomos não nos autorizam, desse modo, a concluir que no global deste campo de resolução de problemas se tenha verificado interferência significativa entre a experiência que desenvolvemos e os dois estilos de alunos que nela intervieram.

Discriminando a análise algo mais, fomos de seguida investigar o que acontecia quando se analisava cada variável dependente autonomamente. Utilizando as mesmas covariáveis que utilizámos anteriormente, para controlar estatisticamente as diferenças existentes no estado inicial, e aplicando uma sequência de análises de covariância simples, construímos o quadro em baixo inserido:

Quadro 45

Efeito Diferencial dos Estilos Epistémicos no Campo Nuclear

ANCOVA	ESTILO		INTERACÇÃO	
Variável	***F* (1;24)**	**p**	***F* (1;24)**	**p**
TRPQT	1,28	**0,27**	0,33	**0,57**
TESTM	0,22	**0,77**	0,15	**0,70**
TRPQL	0,37	**0,55**	1,02	**0,32**
TMEC10	0,90	**0,65**	0,67	**0,67**

Tal como para o campo considerado como um todo, também para as suas variáveis componentes não se observam diferenças devidas ao efeito ESTILO ou à sua acção conjugada com o GRUPO. O Quadro 46 permite, aliás, reforçar essa conclusão:

Quadro 46

Efeito Diferencial dos Estilos Epistémicos no Campo Nuclear: Quadro de Médias

	ESTILO	TRPQT *pré*	TESTM *pré*	TRPQL *pré*	TRPQT *pós*	TESTM *pós*	TRPQL *pós*	TMEC10
E1	**Empírico**	**40,1**	**25,7**	**14,1**	**76,0**	**58,0**	**47,9**	**65,1**
	Metafórico	**28,3**	**27,8**	**12,0**	**79,5**	**58,3**	**32,3**	**59,3**
C	**Empírico**	**42,5**	**27,7**	**19,5**	**35,3**	**42,2**	**33,0**	**48,8**
	Metafórico	**50,1**	**36,9**	**28,5**	**31,8**	**43,3**	**30,8**	**53,5**

As diferenças existentes entre as médias obtidas por um e outro estilo no leque de variáveis indicado não são, em termos genéricos, apreciáveis nem sistematicamente favoráveis a qualquer deles. No entanto, se pensarmos apenas nos pós-testes, verificamos existir uma tendência constante para um melhor desempenho do estilo empírico, ao contrário do que se verificava nos pré-testes. Face à maior fiabilidade dos pós-testes, e por nos parecer o estilo empírico mais ajustado, na verdade, ao tipo de tarefas em causa, parece-nos haver algumas razões para admitir que, noutros estudos de maior dimensão e mais focalizados, a diferença favorável ao estilo empírico neste tipo de tarefas pudesse vir a provar ser significativa.

Fica, no entanto, por esclarecer se a tendência antes verificada para um melhor desempenho do estilo empírico nos pós-testes é idêntica em cada grupo ou mais vincada num grupo do que noutro. Os indicadores já apontados quanto aos efeitos interactivos apontam para a primeira hipótese em termos de significado estatístico das diferenças associadas. Pode, contudo, investigar-se se as diferenças estatísticas nulas, tem na base diferenças absolutas elas também praticamente nulas. Para o indagar, consultemos de novo o Quadro 46. Essa consulta permite concluir que nem nesse caso é possível detectar diferenças sistemáticas significativas.

Campo afectivo. Sentimos a curiosidade de averiguar se, ao contrário do sucedido no campo nuclear da intervenção, os estilos epistémicos poderiam implicar reacções diferenciadas no que toca a comportamentos mais do foro afectivo. Adoptando uma metodologia de análise paralela à utilizada no ponto anterior, e fazendo entrar desta vez como covariáveis os testes SATpré e ATRPFpré, chegámos ao quadro a seguir inserido:

Quadro 47

Efeito Global dos Estilos Epistémicos no Campo Afectivo

MANOVA				
Efeito	***lambda***	**g.l.A**	**g.l.B**	**p**
GRUPO (A)	0,91	2	30	**0,26**
ESTILO (B)	0,99	2	30	**0,98**
AB	0,97	2	30	**0,65**

Mais uma vez se verifica a não interferência dos estilos epistémicos com um dos nossos campos de estudo. As médias obtidas por ambos os estilos no conjunto dos pré-testes e dos pós-testes são sempre muito próximas em valor absoluto e alternadas em valor relativo. Os níveis de probabilidade são, por outro lado, tão elevados que nos dispensamos de discutir mais extensivamente esta situação. Passamos, por isso, a apresentar, já de seguida, algum material relacionado com os efeitos específicos em cada uma das variáveis dependentes. É o que fazemos no Quadro 48:

Quadro 48

Efeito Diferencial dos Estilos Epistémicos no Campo Afectivo

ANCOVA	ESTILO	
Variável	***F* (2;30)**	**p**
SATFQ	0,02	**0,89**
ATRPF	0,02	**0,89**

Concluímos que também para cada variável, tomada individualmente, os dois estilos epistémicos considerados não se comportam de forma diferente quanto às mudanças respectivas. A interacção entre o estilo e o grupo também não provou ser significativa.

6.3

ALGUMAS REPRESENTAÇÕES FINAIS

No desenvolvimento deste ponto, tomaremos como base a análise qualitativa das entrevistas realizadas logo após a conclusão das intervenções no quadro da sala de aula. Em sintonia com as razões apresentadas no capítulo 5, apoiar-nos-emos, no que se segue, em dois módulos de análise diferenciados:

1. Um primeiro, assente no *corpus descritivo* das entrevistas e virado, fundamentalmente, para a discussão de sentimentos, atitudes e representações finais dos alunos relacionados, no essencial, com o ensino-aprendizagem da física.

2. Um segundo, mais apoiado no *corpus interpretativo,* e que pretende dar conta não só de representações descritivas estáticas, mas sobretudo de representações dinâmicas de chegada, ligadas, desta vez, a diversas componentes da resolução de problemas de física. Este módulo tem, assim, por objectivo avaliar e comparar o impacte nos alunos da experiência realizada, impacte esse analisado a três níveis:

   - a nível de *representações afectivas globais* — identificado com a discussão de categorias essencialmente do domínio afectivo;

- a nível de *representações diferenciais* — identificado com as representações afectivas e cognitivas dos alunos sobre os diversos passos do modelo experimental de resolução de problemas de física;

- a nível dos *desempenhos cognitivos e metacognitivos oralizados* — identificados com a resolução de um problema concreto e com a discussão de categorias do domínio cognitivo-metacognitivo.

A Imagem da Física

Física: uma Disciplina Contra-intuitiva?

> Se uma pessoa for dizer a outra pessoa que nunca aprendeu física coisas que aprende nas aulas de física (...) ela diz que é mentira. Que não é assim, que é como ela diz! **(E2)**

É um facto conhecido e por nós já tratado (por exemplo, no número 4.1) que uma das grandes dificuldades que se colocam aos alunos no estudo da física, com particular acuidade na mecânica, está directamente relacionada com o carácter contra-intuitivo de grande parte dos seus conceitos.

Embora estejamos a assistir a um movimento internacional — representado no nosso país, por exemplo, pela equipa responsável pelo desenho dos novos programas da componente de física da disciplina de CFQ para o 8.º e 9.º anos de escolaridade —, visando conseguir programas curriculares (fundamentalmente ao nível da escolaridade básica) susceptíveis de atenuarem esse *handicap,* a verdade é que, por mais bem sucedidas que

tais propostas se venham a revelar, a física escolar sempre se há-de defrontar com a contra-intuitividade que lhe é inerente, sob pena de deixar de ser física.

Por outras palavras: por melhor intencionadas, consistentes e bem implementadas que sejam as tentativas de ligar a física aos problemas da sociedade tecnológica contemporânea, sempre hão-de existir descontinuidades conceptuais entre o mundo dessa realidade e o mundo da idealidade científica. Sempre se há-de verificar dissonância e coexistência (nem sempre pacífica) entre as linguagens formais e contra-intuitivas da física e as linguagens concretas e intuitivas da realidade quotidiana. É um conflito entre essas realidades, traduzido numa certa desconfiança do aluno face às explicações propostas pela física, que o excerto seguinte bem ilustra. Custou o aluno a convencer-se (e será que ficou mesmo convencido?) ser possível para a física uma pessoa realizar uma série de viagens, com regresso ao ponto de partida e, no entanto, ter experimentado um *deslocamento* nulo:

E.— *Para vocês a disciplina de CFQ é fácil ou difícil?*

R.— Eu acho que é fácil. Quer dizer, não é muito difícil.

E.— *E para ti, N.?*

N.— Tem algumas coisas... Por exemplo, quando a professora me disse aquela coisa do deslocamento — o deslocamento é nulo, (...) ou outra coisa qualquer — fiquei assim um bocado... *Então, mas o deslocamento é nulo* ?! Quer dizer: eu venho do Redondo para Évora, chego a Évora e volto para o Redondo; ou vou dar uma volta ao mundo, depois volto à mesma terra, e o deslocamento é nulo ?!...

E.— *Em que é que isso te fazia confusão?*

N.— Fazia confusão! Depois é que a professora esteve a explicar que deslocamento e espaço são coisas diferentes. (...) *O deslocamento nulo... Pronto, eu ainda tive de percorrer alguma coisa* !

E.— *Foi por não estares habituado, não achas?*

N.— Não estava, pronto! Então eu desloquei-me até Évora, desloquei-me até ao Redondo... Pronto, era assim!

E.— *Estou a perceber: fazia-te confusão porque a linguagem corrente não entende assim. Vocês pensam que a linguagem corrente é por vezes um obstáculo à compreensão da física na aula?*

R.— Em princípio.

E.— *Explica lá.*

R.— Porque, normalmente, *as palavras que usamos em física aqui nas aulas, lá fora têm um sentido completamente diferente,* e não estão relacionadas com os objectos da vida real. **(E2)**

As palavras finais constituem como que um libelo acusatório contra o divórcio entre a "física [das] aulas" e a física do mundo lá de "fora". A utilização recorrente e peremptória da palavra "pronto" é, por outro lado, só por si reveladora do estado de desconfiança do aluno relativamente à física das aulas. São os próprios alunos a sentirem a inevitabilidade da coexistência dos dois códigos e, afinal, a sua positividade, no que diz respeito à adaptação e comunicação em diversos contextos da vida — em total sintonia com o que vimos ser o espírito do pensamento de Kelly. Os excertos que em baixo apresentamos são disso prova evidente:

I.— Na linguagem do dia-a-dia, as pessoas ligam muito o peso com a massa. Dizem: *Pese lá isto* ! , e não sei quantos quilos... E depois a gente chega à física e são algumas coisas diferentes e a gente fica assim: *Como é que é?! Estes dizem uma coisa, vou lá para fora dizem outra !*

H.— E depois, no dia-a-dia, mesmo que a gente saiba que estão a dizer coisas erradas não podemos. Por exemplo, aquilo: *Fecha a porta para não entrar frio.* A gente não ia chegar lá e corrigir para: *Fecha a porta para não sair energia total sob a forma de calor* !... **(C)**

N.— O dia-a-dia é sempre diferente da sala de aula... *Nós estarmos ali uma hora por dia,* dentro da sala, *vamos para fora... Pronto, é a vida normal* !... **(E2)**

Física ou Química: Qual a Mais Acessível?

Ao ser-lhes colocada uma questão deste tipo, as opiniões dos alunos dirigiram-se no sentido do que os indicadores em baixo ilustram:

	FÍSICA	QUÍMICA
E1	7	4
C	4	5

Nota-se uma inversão de posições relativamente às duas componentes disciplinares: pela amostra de alunos entrevistados, o Grupo E1 parecia tender a considerar a física uma disciplina mais acessível, acontecendo o oposto com o grupo de controlo. Mau grado a dimensão restrita das amostras, é legítimo supor que esses resultados possam traduzir alguma influência positiva da intervenção nos elementos do grupo experimental. Isto porque, por norma — e sobretudo em turmas pouco vocacionadas para o estudo de uma disciplina exigente como é a física — o que costuma acontecer é precisamente o contrário: a química ser considerada, apesar de tudo, mais fácil (ou menos difícil) de aprender — até pelo seu carácter mais descritivo e relativamente menos estruturado. O extracto que se segue parece, aliás, reforçar aquela suposição:

L.— Eu julgo que *a física que aprendemos já agora é mais fácil que a química.*

E.— *Achas? Porquê?*

L.— Primeiro porque gosto mais de matemática e isto *relaciona-se mais com problemas...*

E.— *E tu, V.?*

V.— Eu, em relação a física, acho também que é um pouco mais simples que a química. [*Trata-se de um aluno com dificuldades no pensamento lógico-formal*]

E.— *Será por teres facilidades a matemática que tu gostas mais de física?*

L.— Não, é porque *a química é mais teórica do que prática.*

E.— *Concordas, V.?*

V.— Sim, mas *temos de ver que demos a física de maneira diferente* e... conseguimos adaptar-nos melhor e saber até mesmo do que é que tratava a física... **(E1)**

Emergem, com efeito, do discurso precedente qualificativos que favorecem claramente a física: "mais fácil", "mais relacionada com problemas" (química vista como mais "teórica"), "um pouco mais simples", "dada de maneira diferente". Os alunos que justificavam ser a física mais acessível do que a química utilizavam tipologias argumentativas do seguinte teor:

- **A física é mais fácil por estar mais ligada à vida real.**

V.— *Na física eu tive mais facilidades porque ... há muitos problemas que estão relacionados com o nosso dia-a-dia,* logo aí torna-se mais fácil.

L.— Sim, é mais real. **(E1)**

B.— A química... não é que seja difícil. *Acho mais fácil física.* Física... *há o problema... a gente pode ver aquilo na vida real.* Na química não consigo [*refere-se possivelmente à química do 10.º ano, realmente abstracta*]. **(E1)**

Z.— Eu acho que *a física ... mete mais problemas do dia-a-dia...* Por exemplo, os problemas que temos estado a tratar agora... dão sempre exemplos do dia-a-dia. Ao passo que na química vão buscar para lá elementos mais abstractos!... **(E1)**

- **A física é mais fácil porque é uma disciplina mais organizada.**

B.— *A física sempre está mais organizada: começa no princípio e vai progredindo.* [Talvez que aqui se possa vislumbrar um efeito positivo dos mapas de conceitos que utilizámos como suporte à estratégia didáctica.]

E.— *E não sentes essa progressão em química.*

B.— Não. **(E1)**

- **A física é mais difícil porque exige competência matemática e competência linguística.**

Como o quadro anterior permite verificar, é evidente que nem todos os alunos do grupo experimental retiveram da física essa representação de área disciplinar comparativamente mais acessível do que a química. Um dos alunos desse grupo toca, inclusivamente, num ponto quanto a nós bastante sensível: ser a física difícil em virtude de a sua aprendizagem exigir conciliação entre aspectos matemáticos e aspectos linguísticos:

U.— [A física é mais] difícil.
E.— *Acha-la difícil, porquê?*
U.— *Acho-a difícil porque temos de conciliar a matemática com a parte de letras.* E a parte de matemática então ainda é pior. **(E1)**

- **A física é mais difícil devido às fórmulas.**

Esta é uma representação típica dos sentimentos da generalidade dos alunos face à física escolar. Naturalmente que é também uma representação desse tipo que tipificará os sentimentos da maioria dos alunos do grupo de controlo. Ela atinge o apuramento máximo no caso do fragmento de entrevista que agora transcrevemos:

E.— *Qual a vossa opinião acerca da disciplina de CFQ? Acham-na fácil ou difícil?*
M.— Química é fácil, *física é mais difícil.*
E.— *Mais ou muito mais?*
M.— Muito mais!
E.— *Em que aspecto é que é muito mais difícil?*
M.— *Por causa das fórmulas...* é preciso muita matemática.
E.— *E que pensas tu O.?*
O.— Exactamente a mesma coisa! **(C)**

Física versus *Matemática*

A imagem da matemática entre os alunos de física.

F.— Eu acho que física (...) tem matemática junta, mas tem que se estudar alguma coisa. E *matemática é só a matemática e mais nada.* **(C)**

S.— Eu acho que... eu acho que *eles inventam* [em matemática] *coisas que nunca... que nunca vão servir para nada* ! **(E2)**

L.— A física compreende, acho eu, os acontecimentos da vida real e a gente tem que adquirir conhecimentos para saber utilizar esses na física... e depois é o cálculo... E *a matemática* é mais... Pronto, é cálculo, é o raciocínio, mas já *não tem nada a ver com a... vida.* **(C)**

Muitos alunos não gostam de estudar física devido à matemática.

A.— *Muita gente tem medo da matemática* ! Não sei porquê, mas...

R.— Mas às vezes sucede precisarmos de coisas de matemática em física que ainda não demos em matemática e... são os professores de física que nos explicam essas coisas. Depois, passadas uma aulas, vamos dar isso em matemática... Acho que não tem lógica nenhuma!

E.— Já agora, acho interessante colocar-te a seguinte questão: quando tu dizes que, às vezes, são os professores de física que têm que dar determinados assuntos de matemática, tu achas que percebes melhor quando é o professor de física a explicar-te esses assuntos ou quando é o de matemática?

R.— [Quando é o de física a explicar] *porque nos dão situações concretas* em física que nos vão levar a perceber certas maneiras de calcular coisas. **(C)**

Um dos alunos lança fortes críticas sobre um dos problemas cruciais do ensino da física (como do ensino, em geral): a falta de articulação entre programas. Considerando a matemática mais abstracta do que a física, alguns alunos afirmavam ser para eles mais fácil perceber determinados conteúdos de matemática quando explicados no âmbito da física. Aí, dado que a explicação tem um suporte mais concreto e, sobretudo, porque os

conceitos surgem como uma necessidade de explicar algo, torna-se mais fácil para eles entenderem a razão de ser desses conceitos, facilitando isso a sua motivação e a consequente aprendizagem.

A aprendizagem da física pode tornar-se mais difícil do que a da própria matemática.

E.— *E no que se refere à exigência intelectual: acham que a física requer um nível de raciocínio mais elevado do que as outras disciplinas que vocês têm?*

A.— Acho que sim !

E.— *Em que aspecto é que tu achas que requer, comparando, por exemplo, com matemática?*

A.— No aspecto de voltar atrás, relacionar de novo o problema e depois chegar à dedução... É chegar ao fim, ver que qualquer coisa está mal, voltar outra vez atrás, pensar sobre tudo... e chegar lá.

R.— Eu acho que em matemática, quando vemos nos livros, podemos ver "resolver problemas" ou "resolver exercícios"... Mas eu penso que quase sempre são só exercícios, porque raramente se põem coisas de raciocínio, mas sim de cálculo ... e muitas vezes nós mecanizamos os exercícios. Agora em física não pode ser assim porque as coisas são sempre diferentes. **(C)**

As palavras dos alunos são bem claras: é possível que a física (a física aprendida com significado, e não a "física superficial e rotineira") exija matemática e, para além disso, requeira mecanismos de pensamento mais complexos (porque menos algoritmizados) — para além de requerer, como anteriormente um aluno dizia, a imprescindível "parte de letras":

O.— A física tem matemática... para aplicar lá com as fórmulas.

E.— *Então ao que me parece, na tua ideia considerarias a física ainda mais difícil do que a matemática.*

O.— E acho!

...

E.— *Portanto dá a impressão que a física para além de ter a dificuldade da matemática ainda tem algo que lhe é próprio...*

O.— Sim!

E.— *O quê?*

O.— *Na matemática é só chegar lá e resolver. E na física temos que achar as fórmulas e fazer os cálculos.* **(C)**

E.— *E comparando, desta vez, física com matemática, qual é que tu pensas que é mais exigente?*

L.— Dessas duas, *é a física.*

E.— *Porquê?*

L.— Eu acho que é a física, porque tem parte de cálculo... A matemática também tem, mas é mais... *A gente vê os problemas da física acontecerem na vida real...* pronto, *e isso leva-nos a pensar e... e a matemática... é cálculo e coisas que não se passam muito na vida real.* **(C)**

É Necessário Estudar Muito para Aprender Física?

O importante é estar atento e concentrado nas aulas.

J.— O essencial é estar com atenção nas aulas.

E.— *Exige mais atenção, mais concentração, do que outras disciplinas* ?

J.— Ah, exige !

E.— *Supondo que um aluno está desconcentrado numa aula de física e numa de química, em que caso é que ele poderia recuperar melhor sozinho?*

J.— Talvez a química... É mais à base de símbolos; está ali tudo escrito no papel. **(E1)**

E.— *Se um aluno não estiver concentrado em física, perde mais do que perde noutras disciplinas* ?

R.— Ah, sim!

E.— *Porquê?*

J.— É a interligação...

R.— E também acho que está relacionado com as expressões que utilizamos lá fora e que utilizamos cá dentro e que são diferentes. Porque se aqui a professora fala em deslocamento, o aluno, se nessa aula está desconcentrado, depois, quando vai estudar o assunto, ele não sabe do que é que se está a falar, faz uma coisa... um cálculo completamente errado. **(E2)**

O importante é compreender bem a matéria.

Z.— *Eu acho que a física, se eu estiver com atenção* na aula *e se perceber, se perceber mesmo* — não é só ouvir! —, e perceber mesmo, até nem preciso estudar. Lógico que as fórmulas ... isso tem que se decorar. Agora aquelas noções... Uma pessoa que perceber, acho que *não é preciso grande estudo.* **(E1)**

E.— *E se a gente comparar com química, onde é que tinham de estudar mais?*

V.— Para mim é bem diferente. *Tive de estudar mais para química.*

L.— Sim, também concordo.

E.— *Qual é que exige maior memorização?*

L.— A química.

E.— *Porquê?*

L.— Primeiro é mais teórico, é preciso saber muito mais, é muito mais definições e muito mais coisas. *Na física, de uma mesma fórmula pode-se tirar quatro.* **(E1)**

O importante é ter um bom raciocínio lógico e saber visualizar.

E.— *Achas que o principal para aprender física é estudar, estudar um grande número de horas* ?

D.— Não. *Acho que é o raciocínio lógico.*

E.— E mais?

D.— Visualizar a situação. E tentar compreender. **(C)**

Impacte da Abordagem Experimental: Complementos Derivados das Entrevistas

Impacte a Nível de Representações Afectivas Globais

Neste domínio, são três as categorias que nos pareceram respeitar os requisitos enunciados no capítulo 5 para codificar os fragmentos de discurso enquadráveis no que então designámos de *corpus interpretativo* das entrevistas:

- "**PROBLEMAS**". Tem esta categoria a ver com a opinião dos entrevistados sobre a natureza genérica dos problemas de física por eles enfrentados. Pretende dar conta dos constrangimentos afectivos que as características desses problemas espontaneamente lhes suscitavam (dificuldade, frustração, antipatia, etc.).

- "**ENUNCIADOS**". Esta categoria está associada, no essencial, ao *impacte exercido nos alunos pelos enunciados extensos* que deram suporte à intervenção nos grupos experimentais. Tanto no grupo experimental como no de controlo, havia alunos capazes de apontar vantagens e desvantagens desses enunciados, relativamente aos enunciados curtos e depurados que constituem a regra nos manuais de física. Afirmamos isso por dois motivos principais, diferentes consoante o grupo: no grupo de controlo, porque a metodologia seguida recorreu aos dois tipos de enunciados, dando-se, evidentemente, aos enunciados extensos menor grau de intervenção e menor exploração, sistematização e explicitação; no grupo experimental, porque não tendo recorrido tanto a enunciados tradicio-

nais, grande parte dos seus elementos, por serem alunos repetentes, estavam em particulares boas condições de tecer aquela comparação.

- "**MÉTODO**". Diz respeito às *abordagens didácticas* (enfatiza-se o plural) que corporizaram as estratégias utilizadas para ensinar a resolver problemas de física: mais sistemática, explicitada e verbalizada (ou seja, mais metacognitiva) no grupo experimental; mais fragmentada, de processos menos explicitados e mais virada para a "mecanização" e para o "operativismo cego" (isto é, menos metacognitiva) no grupo de controlo.

Tendo em conta aquelas três categorias, as unidades de significado a elas correspondentes foram classificadas em função da seguinte escala de três graus: FAVORÁVEL, INDECISO ou DESFAVORÁVEL, conforme o significado das afirmações e argumentações do aluno apontava para uma reacção declaradamente positiva, hesitante ou declaradamente negativa face à categoria em questão. Foi nessa base que obtivemos a distribuição de efectivos inserida no Quadro 49, o qual incorpora também os resultados da aplicação do teste não-paramétrico de Mann-Whitney (teste *U*), realizada no intuito de investigar a significância das diferenças entre as duas amostras de alunos entrevistados. São as seguintes as conclusões que, por categoria, nos pareceu pertinente retirar do referido quadro:

"PROBLEMAS". É considerável a diferença entre as duas amostras de alunos entrevistados. Os alunos do grupo experimental mostraram-se, no geral, claramente favoráveis aos problemas de física que resolveram. Não pareciam ter experienciado constrangimentos inexoráveis relativamente a esses mesmos problemas. No que respeita aos alunos do grupo de con-

trolo, verifica-se aí uma predominância de indecisos. O conhecimento que detemos deste grupo autoriza-nos a especular que a sua tendência global talvez pendesse mais para o grau DESFAVORÁVEL. A diferença entre os grupos é "quase significativa" — em consonância, aliás, com a discussão anterior. É praticamente atingido um nível de significância de 5%. Com efeito, sendo $U_{exp} = 20,0$, este valor está praticamente colado ao valor crítico de *U* para este nível de confiança ($U_C = 20,5$).

Quadro 49

Opinião dos Alunos Entrevistados Sobre Alguns Suportes Fundamentais da Abordagem de Resolução de Problemas

		FREQUÊNCIAS			*DIFERENÇA*	
CATEGORIA	**GRUPO**	**Fav**	**Indec**	**Desfav**	**Teste *U***	
Problemas	*E1*	8	1	1	U = 20,5*	p ≤ 0,100
	C	2	5	2		
Enunciados	*E1*	10	-	-	U = 20,0**	p ≤ 0,050
	C	4	5	-		
Método	*E1*	10	-	-	U = 15,0**	p ≤ 0,020
	C	3	5	1		

** Pouco Significativo* *** Significativo* **** Muito Significativo*

"**ENUNCIADOS**". Não oferece qualquer dúvida a distinção marcante entre as duas amostras nesta categoria: a diferença entre ambas é claramente significativa ($p \leq 0,05$) e claramente favorável à amostra experimental. Foi unânime a adesão dos alunos dessa amostra aos enunciados extensos. É curioso verificar que na amostra de controlo também não ocorreram opiniões totalmente desfavoráveis a respeito desse tipo de enunciados — apesar de ter sido muito mais reduzido o seu grau de en-

volvência com os mesmos. É ilustrativa a esse respeito a opinião que a seguir transcrevemos:

E.— *Olhem, por exemplo, este tipo de enunciado. É parecido com os que saíram no teste. Vocês acham que se torna mais fácil assim um enunciado grande ou enunciados mais pequenos ?*

M.— Um enunciado grande.

E.— *Porque achas isso?*

M.— *Porque dá sempre mais dados e... ajuda a descobrir a fórmula.*

...

E.— *Qual é então a grande diferença entre os enunciados do vosso livro e estes?*

M.— Os do livro são mais directos.

O.— O do livro é mais uma resposta rápida... **(C)**

Apresentamos, de seguida, algumas argumentações dos alunos, através das quais se pode comprovar a franca adesão que este tipo de enunciados na verdade lhes suscitou. Inúmeras foram as vantagens apontadas e escassas as desvantagens; e isso em relação aos três grupos participantes. Dado o forte significado das expressões sublinhadas, quaisquer comentários complementares que aduzíssemos só poderiam revelar-se redundantes.

Vantagem dos Enunciados Extensos

- [Nos outros] uma pessoa ... é a tal coisa, *vai assim às cegas* [!], a apalpar o ... *a fazer cálculos* [!]. **(E2)**

- Os que a gente fez *obrigam mais a pensar* [!] porque nós, mediante o enunciado, *até* [!] *temos que determinar qual é o problema,* o verdadeiro problema. **(E1)**

- A gente custa mais... Como hei-de dizer?... A gente defronta-se com um problema, *a gente tem que pensar* [!], tem que ir buscar várias coisas, *não aparece logo tudo de repente* [!]. **(C)**

- Geralmente, [os enunciados curtos] perguntam em concreto o que é que querem saber, e aqui *nós temos de descobrir o que é que é pedido.* **(E1)**

- [Os enunciados curtos] só com duas linhas... *não nos dão para imaginar,* pelo menos eu não imagino nada [e ri!]. *Levam logo à resolução numérica* [!]. **(E1)**

- Assim dá-nos *uma melhor visualização* do que está para ali a acontecer, (...) quando li o problema, visualizei logo o porta-aviões com o avião a descolar. **(E2)**

- Estes, embora tenham muita "palha", *dão uma melhor ideia de como foi o problema* e [ajudam melhor a] imaginar a situação do que os outros só com números. **(E1)**

- Acho que *estes são muito mais reais* [!]. **(C)**

- Estes *ajudam-nos a enquadrar na situação...* E também porque *tínhamos que ser nós ver quais as expressões mais importantes e só depois* [!] *disso a calcular o problema.* **(E1)**

- Assim é melhor porque *a gente tem que seleccionar as palavras que interessam mais e as que interessam menos* . **(E1)**

"MÉTODO".

> Eu acho que foi mais simples ... mais simples do que aquela física pesada. Eu já tive vários professores... É física ... pronto, física e física. Assim não. Eu acho que é mais aberta. **(E2)**

Amostra E1. Verifica-se unanimidade de opiniões favoráveis, no que toca a esta amostra, relativamente ao método didáctico de resolução de problemas de física utilizado. Nas argumentações a favor encontramos as mais diversas tipologias.

- Alunos havia que relevavam sobretudo a novidade (por exemplo, quanto ao enunciado) e a ligação ao dia-a-dia dos problemas utili-

zados; e também o facto de aquele método pressupor a identificação prévia do verdadeiro problema em causa:

V.— Para as bases que eu tinha de física, até *gostei imenso do método* [!].
E.— *Importas-te de explicar um pouco mais?*
V.— O *problema* em si era *dado de maneira diferente* .
L.— E também porque com as palavras que nos eram fornecidas *nós é que tínhamos de tirar o verdadeiro problema.*
V.— Além disso, o *problema* era-nos dado *com coisas do dia-a-dia, com coisas que nós já tínhamos visto.* **(E1)**

- Outros que lhe atribuíam a virtude de os ajudar a pensar, por lhes sugerir estratégias sistemáticas e explicitadas de abordagem:

A.— *Ajuda uma pessoa a pensar* [!]. Porque às vezes há certas especificações... uma pessoa esquece-se de detalhes importantes e, assim, *com aquelas etapas* ... torna-se mais fácil, *uma pessoa já não esquece...*
Z.— Eu acho que ... é um método organizado de trabalho. **(E1)**

- Outros, finalmente, que decidiam relevar a importância da reflexão inicial, considerando-a preferível a "entrar logo nos cálculos":

J.— *É melhor, em vez de entrar logo nos cálculos.* A gente começa a baralhar... só cálculos, só cálculos... depois dá números esquisitos e a gente...
E.— *Mas por que razão é melhor assim, em vez de se entrar logo nos cálculos?*
J.— Porque *temos de compreender primeiro o problema.*
P.— E também é melhor porque nos *ajuda a sentir o que é mais importante,* o que é menos e o que não interessa mesmo. **(E1)**

Dado o escasso número de entrevistas disponíveis, não temos estabelecido comparações que façam intervir o Grupo E2. As opiniões dos poucos entrevistados apontam, contudo, também no sentido de uma opinião favorável ao método didáctico em questão. A própria citação que apresentámos

em epígrafe é disso exemplo significativo, como o são as opiniões favoráveis que inserimos para o caso da categoria anterior. Essa opinião positiva dos mesmos alunos é, como veremos mais à frente, estendida igualmente aos materiais de apoio a essa metodologia — esses materiais surgem, nas entrevistas, muitas vezes designados genericamente de "fotocópias", forma material segundo a qual eles foram distribuídos os alunos, especialmente aos dos grupos experimentais.

Amostra C. Na amostra de controlo, e como anteriormente, predominam os indecisos. Convém lembrar que tal indecisão diz neste caso respeito não à metodologia didáctica a que antes nos referimos mas, como é óbvio, à metodologia tradicional de resolução de problemas, aquela que melhor se enquadra no tipo de intervenção a que este grupo foi submetido. O que mais se destaca nesta amostra é o facto de grande parte dos seus elementos parecer nem sequer ter tomado consciência da existência de qualquer procedimento expressamente destinado a ensiná-los a resolver problemas de física. É o caso dos dois alunos a que se reporta o fragmento de entrevista que em baixo incluímos

E.— *Olhem, relativamente ao modo como tratámos nas aulas a parte da resolução de problemas, vocês notaram a existência de algum método concreto ?*

Ambos— [silêncio]

E.— *Esse silêncio quer dizer que não se aperceberam?*

M.— Acho que sim, o professor tinha um método diferente.

E.— *Diferente .... em que aspecto?*

O.— Talvez as *fotocópias*. Estudámos e fizemos exercícios [!] por elas enquanto os outros professores... É só a prática na aula.

E.— *Lembram-se de alguma fotocópia que eu vos tenha dado em que estivesse lá sugerido um método, um caminho para aprenderem a resolver os problemas?*

Ambos— [Não se lembram!] **(C)**

Quer dizer: inquiridos quanto à possibilidade de nas aulas se terem apercebido da "existência de algum método para ensinar a resolver problemas", aqueles dois alunos respondem afirmativamente, dando como justificação o facto de lhes terem sido fornecidas "fotocópias" — ao contrário do que outros professores costumavam fazer. Ora, as fotocópias que lhes foram disponibilizadas, para além de em muito menor número, comparativamente ao que se verificou nos grupos experimentais, não tinham por finalidade explícita dar apoio sistemático (como acontecia naqueles grupos) em procedimentos de resolução de problemas. Constituíam simples complementos do manual, tomado como suporte fundamental do processo didáctico — com as ressalvas já enunciadas no que se prende com a dificuldade pedagógica e ética do investigador em fazê-lo, sobretudo naqueles casos em que a abordagem proposta pelos autores do manual era, a seu ver, completamente despropositada.

O pouco contacto que o grupo de controlo teve com a abordagem experimental de resolução de problemas deu para levar alguns dos seus elementos a exprimirem opiniões desfavoráveis relativamente à mesma — é claro que, se outro tivesse sido o treino proporcionado a estes alunos, outra teria sido também, presumimos, a sua reacção:

E.— *Gostaria, agora, que te lembrasses do teste de resolução de problemas que há dias vos foi passado. Dava-se o enunciado e depois o aluno tinha que realizar uma série de passos, antes de passar propriamente às fórmulas. Achas que essas fases facilitam ou dificultam a resolução ?*

T.— Às vezes dificultam !

E.— *Em que aspecto é que tu pensas que dificultam?*

T.— Se a gente ao fim e ao cabo é o problema que quer, assim é pior ! **(C)**

Impacte a Nível de Representações Diferenciais

Iremos neste ponto incluir informação tendente a ilustrar as representações e opiniões dos alunos entrevistados acerca dos diferentes passos que compõem a abordagem de resolução de problemas que concebemos. Convém frisar que, tendo em conta as profundas diferenças entre os alunos de ambos os grupos, no que tem a ver com o grau de familiarização com esses passos, os estatutos dessas representações são necessariamente diversos.

Feito este esclarecimento, diremos ainda que organizámos este módulo da seguinte maneira:

1. Numa primeira fase, começamos por analisar as reacções dos alunos à pergunta da entrevista: ***Qual o passo que na tua opinião é mais decisivo na resolução de problemas quantitativos de física?*** Visávamos, com esta pergunta, obter referências *espontâneas* acerca do passo de resolução em causa.

2. Numa segunda fase, em vez de referências espontâneas, analisam-se as respostas e argumentações dos alunos relativamente ao passo em que usualmente costumavam experimentar mais dificuldades, tendo em conta a listagem correspondente que lhes havia sido facultada durante as entrevistas (ver *guião,* no Anexo 5).

3. Finalmente, numa terceira fase, tenta-se investigar as opiniões dos alunos acerca do seu maior ou menor à vontade em cada um dos passos listados de *per si.*

Qual o passo mais decisivo?

> É ter assim uma ideiazita de como é que a gente pode começar a fazer aquilo, (...) assim uma avaliação... Como é que nós vamos fazer aquilo, não é logo chegar ali assim, começar logo ali a fazer... **(E2)**

A análise das respostas à questão supracitada levou-nos ao quadro-síntese a seguir figurado:

PASSO	E1	C
compreender/identificar o problema	8	4
encontrar um método	-	1
aplicar fórmulas/realizar as operações matemáticas	-	1
pensar /raciocinar	-	1
raciocínio lógico	-	1
compreensão dos conteúdos	-	1
todos	2	-

Concluímos serem bem distintas as opiniões das duas amostras de alunos entrevistados. No caso da Amostra E1, as opiniões recaem praticamente todas na fase inicial de compreensão e identificação do problema e da incógnita. Parece, por isso, terem os alunos do grupo experimental captado bem uma das nossas principais mensagens: a importância na resolução de problemas da fase de reflexão qualitativa prévia.

O comportamento dos representantes do grupo de controlo é diverso. Embora esse seja o passo por eles mais referido, as opiniões encontram-se muito divididas. Isso deve-se, admitimo-lo, ao facto de a abordagem didáctica neles adoptada não prever de modo tão explícito o desenvolvimento dessa estratégia metacognitiva. A consequente avidez pelo quanti-

tativo e a obsessão pela fórmula terão impossibilitado uma maior sensibilização para a importância daquela estratégia.

Pode também ter acontecido que muitos alunos do grupo de controlo nem sequer se tenham apercebido da existência (ainda que ténue) da mesma estratégia — como muitos deles nem se tinham apercebido da própria existência de um método de resolução. O contacto pontual que tiveram com esse método não terá sido suficiente para garantir a necessária tomada de consciência.

Qual o passo mais difícil? Após análise qualitativa criteriosa das respostas e argumentações dos alunos a esta pergunta, obtivemos a seguinte categorização:

PASSO	E1	C
Compreender o problema/identificar a incógnita	3	-
Recordar a informação adequada (a fórmula, em especial)	1	3
Executar o plano/substituir na fórmula/ realizar as operações matemáticas	2	4
pensar num plano	1	1
localizar a informação-chave	-	1
construção do diagrama	1	-
rever o procedimento	2	-

Algumas inferências relevantes nos parecem admissíveis:

1. É nítido o contraste entre os dois grupos, no tocante à sua percepção do grau de dificuldade imposto pelo passo da compreensão inicial do enunciado; apenas entrevistados do Grupo E1 nele reportam dificuldades:

P.—É o início, é o mais difícil, (...) *é o pontapé de saída* [!]. **(E1)**

Parece haver aqui contradição entre este resultado e o que para o mesmo grupo (e para o mesmo passo), estava espelhado na pergunta anterior. Consideramos, todavia, que não existe necessariamente contradição. Primeiro, porque considerar importante ou decisiva uma tarefa não implica que se considere essa tarefa fácil. Segundo, porque o maior nível metacognitivo que em média associámos à questão anterior para os alunos do Grupo E1, pode muito bem estar aqui reflectido: traduzido neste caso numa maior tomada de consciência das reais dificuldades do passo de resolução em causa.

2. A maior frequência de respostas do grupo de controlo em questões relacionadas com a execução do plano (ou seja, em aspectos ligados a operações matemáticas e à utilização de fórmulas) está em perfeita sintonia com a caracterização que fizemos noutro local dos vícios a que a abordagem tradicional pode conduzir. O excerto que a seguir transcrevemos ilustra, talvez melhor do que as nossas palavras, o que pretendemos dizer:

E.— *[Em qual desses passos vocês acham que têm maiores dificuldades?].*
O.— Executar o plano.
M.— Recordar a informação necessária.
E.— *Porque tens dificuldade em executar o plano, O.?*
M.— [Não consegue explicar!]
E.— *O que é para ti difícil nesse aspecto?*
Ambos— *As fórmulas.*
E.— *E tu M., no que respeita a recordar a informação necessária?*
M.— A dificuldade são as fórmulas, também.
E.— *Parece que vocês estão um bocado traumatizados com as fórmulas, não?!*

M.— Muito! [com espontaneidade e convicção] **(C)**

Colocada que foi esta questão, que teve por alvo toda a série de procedimentos listados, fomos depois tentar averiguar as dificuldades experimentadas em cada um deles, pensado individualmente. A tónica será colocada na descrição mais do que na comparação, dado não termos conseguido detectar diferenças significativas entre os dois grupos. Nos casos em que isso se torne possível, essa comparação (a título de simples ilustração) será, todavia, facultada.

Compreender o problema.

> Não é a gente começar logo ali às cegas a fazer cálculos, a ver qual é o que dá. (...) É começar assim a apalpar como é que será o problema. **(E2)**

Esta importante estratégia metacognitiva foi suficientemente analisada anteriormente: dispensamo-nos, por isso, de aqui incluir comentários adicionais a seu respeito.

Identificar a informação-chave.

> Sem ela não se consegue fazer nada. É como se fosse uma certa luz! **(E1)**

Decidimos, em função das respostas dos alunos, considerar três categorias de análise — FÁCIL, DEPENDE e DIFÍCIL — consoante essas respostas indiciavam facilidade, indecisão/variabilidade ou dificuldade na estratégia em causa:

	FÁCIL	DEPENDE	DIFÍCIL
E1	7	2	1
C	4	3	2

Como conclusão geral, parece poder inferir-se um maior à vontade dos alunos do grupo experimental nesta importante estratégia metacognitiva. Apesar da escassez da amostra, não nos custa admitir estarmos perante um efeito positivo da experiência, dado ter sido esta uma das estratégias mais treinadas (ver fichas de trabalho, nos Anexos 1, 2 e 3) e também uma daquelas em que os alunos mais rapidamente e melhor evoluíram. E é também uma daquelas cuja importância os alunos mais relevavam nas entrevistas. Para exprimirem esse sentimento, os alunos do grupo experimental utilizavam frases do tipo:

L.— [É muito importante] porque nós, a partir da informação-chave, já temos *assim... mais ou menos uma ideia daquilo que vai vir a seguir.* **(E1)**

A.— Eu acho que é bastante importante porque é a partir daí que se pode depois *identificar a incógnita.* **(E1)**

E mesmo os alunos do grupo de controlo pareceram ter intuído essa importância:

T.— Assim [ou seja, após ter identificado a informação-chave] *já se tem o tesouro ao alcance* . **(C)**

F.— Eu acho que [é muito importante] porque já *é meio caminho andado.* **(C)**

Construir e explicitar um plano prévio.

> Evita que o aluno ande ali só por tentativas. Pode-se estar a tentar de uma maneira, depois não dá, tenta-se outra (...) isso só faz é perder tempo. **(E1)**

Neste caso, considerámos pertinentes as categorias em baixo figuradas. A categoria NÃO SABE refere-se àquelas respostas em que o aluno manifestava surpresa face à questão proposta, afirmando mesmo não saber o que era um "plano".

	FÁCIL	DEPENDE	DIFÍCIL	NÃO SABE
E1	0	2	8	0
C	2	4	1	2

A primeira constatação que, no imediato, emerge do quadro é o facto de quase todos os representantes do Grupo E1 terem reportado dificuldades; isso apesar de terem beneficiado de treino explícito nesta importante componente do controlo metacognitivo:

E.— *E pensar num plano?*
C.— Oih! Oih!... [de pronto]
E.— *Mas Oih! Oih!, porquê? Não és capaz de pensar num plano?*
B.— Sou capaz de pensar, mas ...
E.— *Diz, diz.*
B.— Poucas vezes penso [e ri]
E.— *Mas é difícil? O que será mais difícil: é pensar num plano ou resolver o problema?*
B.— Se pensar no plano, depois é mais fácil resolver o problema.
E.— *E se não se pensar no plano, corre-se algum risco?*
B.— Errar o problema! Mas eu ... quase nunca penso num plano porque... vou fazendo as coisas... quando falta uma coisa volto a trás mas nunca tenho problemas de falhar. **(E1)**

Muitas vezes acontecia os alunos se referirem ao plano como a heurística de apoio que lhes havíamos sugerido a título de orientação. Tal heurística (geral e fornecida) acabava por ser tomada como um plano mental e por isso pessoal.

Uma razão, a nosso ver plausível, nos parece poder em parte justificar essas dificuldades. Recordamos que a elaboração de um plano mental de resolução de problemas é uma das estratégias metacognitivas fundamentais nos modelos de Brown e Sternberg, por exemplo. Pelo facto de essa estratégia funcionar a um nível hierárquico de ordem superior (relativamente a outros processos cognitivos), e dada a sua transversalidade de aplicação, a sua efectivação implica a mobilização de processos cognitivos de ordem inferior. Não é por acaso que Sternberg, incluindo-a, como assinalámos, no conjunto das metacomponentes essenciais do seu modelo de inteligência, sugere diversas vertentes em que ela deve ser treinada. Julgamos, por conseguinte, exigir o treino efectivo de estratégias deste tipo uma explicitação mais fina das suas componentes do que aquela que conseguimos e maior tempo de intervenção do que aquele de que dispusemos.

O facto de os representantes do Grupo E1 terem relatado maiores dificuldades do que os do grupo de controlo pode, no entanto, espelha, simplesmente, algo que já anteriormente discutimos: as experiências metacognitivas do Grupo E1, no tocante a esta estratégia, serem mais intensas, mais consciencializadas e mais consistentes do que as do Grupo C face à mesma estratégia. Quer dizer: admitimos como provável que as respostas dos elementos deste grupo se tenham caracterizado por uma maior aleatoriedade do que as de E1.

Nessas circunstâncias, muito embora conscientes das reais dificuldades que a construção e a explicitação de um plano implicam, muitos elementos do grupo experimental são concordantes em afirmar a sua importância — o que mais uma vez significa que alguma sensibilização e alguma transformação metacognitiva possam ter acontecido:

E.— *Esse plano é importante?*
Z.— Sim.
E.— *Porquê?*
Z.— Evita erros e ... permite seguir um raciocínio lógico.
E.— *Já te apercebeste de colegas teus a que lhes falte esse plano, quando estão a resolver problemas?*
Z.— Às vezes falta.
E.— *Em que é que tu notas que lhes falta esse plano. Como é que eles procedem?*
Z.— Fazem assim um pouco à toa... fazem o que lhes vem à cabeça. **(E1)**

Construir um diagrama.

Faz de conta que é uma fotografia da nossa imaginação. **(E1)**

Tentámos também inquirir os alunos acerca das eventuais dificuldades por eles sentidas na construção de representações externas da situação problemática (ex., diagramas):

	FÁCIL	DEPENDE	DIFÍCIL	NÃO FAZ
E1	4	4	2	-
C	4	2	-	3

Dois aspectos julgamos merecerem para já algum destaque. Em primeiro lugar, ter sido a Amostra E1 a única a manifestar dificuldades. Mais uma vez é legítimo especular poder ser isso um indicador não de menor competência desses alunos nesse ponto, mas de maior consciência metacogni-

tiva. Em segundo lugar, o facto de no Grupo C existirem alunos que declaram nunca recorrer a esse tipo de representação externa.

E.— *Vocês estão habituados a construir um diagrama?*
Ambos— Não!
E.— *Acham que não vale a pena?*
D.— Nesta altura... Quando se começa no princípio, no 8.º e no 9.º ano, ajuda.
E.— *No 10.º ano, achas que já não vale a pena. Consegues fazer tudo na tua cabeça?*
D.— Sim.
E.— *Então e se se utilizar, será que não facilita?*
B.— Acho que até facilita.
D.— Facilita... mas fazer o desenho perde-se tempo ...
E.— *Mas imaginemos que, em vez de ser num teste, era numa aula ou num trabalho de casa. Aí, já não se punha tanto o factor tempo. Pensam que nesse caso fazer o diagrama ajudaria?*
B.— Eu acho que sim.
E.— *Em que aspecto é que ajudaria?*
B.— A perceber...É algo mais de concreto e estar lá... visualizar... para a gente não perder informações quando estamos a resolver o problema.

Quer dizer: apesar de, muito pragmaticamente — tendo em vista as condições em que a sua aprendizagem decorreu e o nível de escolaridade avançado em que já se encontram —, esses alunos do grupo de controlo não terem sentido valer a pena investir esforço na construção de diagramas, acabam por reconhecer que, a terem-no feito, isso os poderia ter ajudado a superar os obstáculos que a resolução de problemas lhes terá colocado. Aliás, esse reconhecimento é quase regular em todos os grupos. Para o exprimirem, os alunos recorrem a argumentações como as seguintes:

G.— Ah! Assim [com o diagrama] é mais fácil.
E.— *Porquê, por que razão é mais fácil?*

G.— Porque tem ali uma representação qualitativa de como se pode resolver o problema. Parece que está lá, parece que o problema está sujeito àquilo. **(E1)**

V.— [Serve] para a gente ter uma visão do... do problema em si.
L.— A gente relaciona aquilo com o real e com o que vê escrito é o mesmo que estar a ver o acontecimento. **(E1)**

S.— Ajuda, pelo menos, a visualizar a situação.
E.— *Em que aspecto?*
S.— Torna a situação mais real. **(E2)**

O.— A gente constrói o diagrama... temos o enunciado... e assim, com o esquema, já não temos que estar sempre a ver os dados todos. **(C)**

T.— Porque dá-nos mais a ideia das coisas. **(C)**

Vale a pena atender, em particular, ao fragmento de entrevista em baixo inserido. Sobretudo por dele se inferir a significativa percepção do aluno relativamente ao importante papel dos diagramas (das representações externas), como auxiliar material do funcionamento da memória operativa:

E.— *Mas será que o diagrama, para além disso* [para além de funcionar como "fotografia da imaginação"] *ajuda a inspirar, ajuda a descobrir um caminho, a decidir a via a seguir...*
G.— Ajuda muito.
U.— É que nós com imaginação... Nós imaginamos e, ao imaginarmos a segunda vez, pode não ser tão completo como a primeira ... e assim faz-se a primeira imaginação e vai-se imaginar na segunda, vai-se resolver e lembra-se que "já não me lembro como era bem aquilo", e tem que se estar a ler o enunciado todo; vai ali e já não tem que ler tudo... **(E1)**

Executar o plano. Incluímos aqui essencialmente a parte quantitativa da estratégia de resolução, nomeadamente a realização do cálculo com base na aplicação de fórmulas matemáticas. Já o discutimos, de certo modo, num local precedente. Verificámos que, no que diz respeito a

eventuais "traumatismos" provocados pelas omnipresentes fórmulas, é no grupo de controlo onde eles mais se farão sentir. Decidimos, porém, completar essa análise com a discussão das respostas à pergunta: ***Achas que é preciso ser bom aluno a matemática para saber resolver problemas de física*** ?

Não diferiram muito entre os dois grupos as opiniões a esse respeito. A tendência em ambos ia no sentido de considerarem que, não sendo absolutamente necessário isso acontecer, o facto é que "ajuda":

I.— Ajuda, porque há pessoas que conseguem utilizar tudo, chegam às fórmulas e depois não conseguem fazer as contas.

H.— Não é preciso ser bom a matemática! O que é preciso é saber fazer as contas, porque há coisas de matemática que não servem nada para a física, por exemplo, polinómios e...

E.— *Mas a matemática será o factor mais importante?*

H.— Não, a gente deve é ... compreender o problema. Essa é a primeira coisa. Eu sou incapaz de resolver uma coisa que não compreendo. **(C)**

Para outros alunos, embora em menor número, o papel da matemática impera sobre tudo o resto, condicionando inclusivamente a componente afectiva. Para eles, "ser bom aluno a matemática" é praticamente uma condição necessária e suficiente para se ser competente na resolução de problemas de física. Perante esse tipo de argumentações, julgámos interessante replicar, indagando quais as razões que então encontravam para o relativo insucesso dos alunos na resolução de problemas qualitativos de física:

E.— *E nos qualitativos?*

L.— Esses para mim exigem é mais estudo.

E.— *Mas tornam-se mais fáceis ou mais difíceis?*

L.— Esses tornam-se mais difíceis para mim.

E.— *E se te pedirem uma justificação?*

L.— Ainda é mais difícil!

E.— *Porquê?*

L.— ...

E.— *Qual é a dificuldade das justificações?*

L.— Então, porque a gente dá uma resposta directa...

E.— *Sim...*

L.— Dizem lá: justifica. E depois a gente tem que explicar aquilo...

E.— *E ao explicar...*

L.— Às vezes a gente pode saber aquilo de cor, podemos não saber de... de não saber da aula.

E.— *E depois?*

L.— Pronto! Não sabemos... não conseguimos explicar. **(C)**

Vale a pena chamar a atenção para um problema metodológico sério que esta entrevista levanta: a renitência (ou aversão, mesmo) dos alunos às justificações. Elas são para nós o calcanhar de aquiles dos testes qualitativos e, de modo geral, de todas as técnicas que solicitam dos alunos a formulação e explicitação das suas argumentações.

Em primeiro lugar, as justificações exigem esforço deliberado; e nem sempre os alunos parecem estar dispostos a desenvolvê-lo — se calhar porque os seus mecanismos motivacionais intrínsecos não foram suficientemente ou devidamente estimulados para isso:

B.— Eu não gosto muito de justificações. Eu até sei aquilo, sei como é que se faz, até sei justificar ... mas depois não me apetece, não tenho paciência...

E.— *Um pouquinho de preguiça mental?!*

B.— Não é bem preguiça mental, é mais... Prefiro ter que fazer dez problemas ou planificar do que ter que fazer um e ter de justificar. **(E1)**

Em segundo lugar, as justificações, como argumentações lógicas que são, para além de implicarem mecanismos cognitivos e linguísticos (ou cognitivo-linguísticos) complexos e formais — operações que, como já discutimos, muitos destes alunos não dominavam —, exigem também um nível

metacognitivo relativamente elevado. Só assim aqueles mecanismos e os conteúdos sobre que trabalham podem ser trazidos a um nível metacognitivo tal que torne possível transpor para o plano externo aquilo que ocorre a um nível interno.

É assim nossa convicção que, nesse ponto, as entrevistas ganham vantagem aos testes qualitativos. Confrontado com a dificuldade de o entrevistado construir e explicitar verbalmente a sua argumentação, o entrevistador terá sempre a possibilidade de intervir fornecendo estímulos, pistas e incentivos.

Revisão do procedimento. Também no caso desta macroestratégia a diferença de comportamento entre os grupos E1 e C, a existir, não transpareceu nas entrevistas de forma inequívoca. As dificuldades relatadas foram idênticas e elevadas em ambos os grupos. Talvez que se verifique no discurso dos representantes de E1 sinais de uma maior sensibilização para a importância dessa estratégia. Não podemos, porém, considerá-los como significativos, até porque também encontrámos alunos experimentais que taxativamente nos afirmaram não realizarem em regra essa revisão crítica do procedimento de resolução implementado, durante e após a tarefa:

L.— Isso é que eu não fazia.
E.— *Então porquê?*
L.— Porque o que eu tinha lá posto era o que eu sabia... Acho que a gente só sabe depois de o professor corrigir; o que eu sabia punha.
E.— *Então mas determinados erros de raciocínio ou de cálculo tu não os poderias detectar?*
V.— Eu dou sempre aquela vista de olhos antes de entregar.
E.— *Mas era uma vista de olhos rápida ou...?*
V.— Rápida porque muitas vezes já não tínhamos tempo.
E.— *Então e nos trabalhos de casa?*

V.— Ah, aí era diferente.

E.— *Mas porque é que será que nos trabalhos de casa, naquelas tarefas a seguir à resolução matemática, vocês não punham quase nada?*

L.— Porque o problema já estava resolvido e essa parte já não interessava.

E.— *Não interessava?! Ou é falta de treino?*

L.— Pode ser falta de treino e também uma certa preguiça. **(E2)**

U.— Era raro!

E.— *Era raro, porquê?*

U.— Não sei... Muitas vezes pelo tempo. E também pela falta de hábito.

E.— *Mas será importante rever?*

G.— Sim, é muito importante.

E.— *Para quê?*

U.— Para emendarmos! Mas depois há uma coisa, ... depois há o medo de ter bem e errar. **(E1)**

Tomar consciência da informação recordada.

> Eu sou capaz de resolver o problema, só que depois não sei o que é que apliquei. **(E1)**

Perante este tipo de processo metacognitivo, correspondente a uma tomada de consciência activa da informação retirada da memória a longo prazo, distinguindo-a da informação fornecida no enunciado, os alunos tiveram comportamentos praticamente idênticos, independentemente do grupo a que pertenciam. A dificuldade reportada foi mais ou menos uniforme.

Esse sentimento generalizado de dificuldade e de alguma impotência tem correspondência perfeita na qualidade das respostas apresentadas no TESTM, para o mesmo tipo de questão. Face à tarefa concreta que lhes propunha um esforço consciente no sentido de explicitarem qual a informação utilizada na resolução do problema (fórmulas, por exemplo) que

haviam retirado da memória a longo prazo, situações curiosas se verificavam. Era frequente os alunos misturarem na resposta informação retirada da memória com informação presente no enunciado (por exemplo, misturarem dados numéricos com a fórmula $F_r = m\,a$).

É claro que, por detrás deste comportamento, pode estar um dos grandes obstáculos a este tipo de investigação. Referimo-nos à desconcentração quase endémica dos alunos, a qual reflecte muitas vezes insuficiências no foro metacognitivo, encarado aqui em sentido abrangente, isto é, prevendo a sua influência em aspectos do foro afectivo (motivação).

Impacte a Nível do Desempenho Metacognitivo Oralizado

O domínio aqui em discussão está intimamente associado ao comportamento oralmente verbalizado dos alunos, perante a resolução do problema apresentado no número 5.2 (ver, também, Anexo 5). Durante a resolução, os alunos eram estimulados a explicitar o mais possível os seus processos e estratégias de pensamento e as suas dificuldades e condicionamentos cognitivos, metacognitivos e afectivos. Identificaram-se neste caso quatro categorias de análise, assim designadas e caracterizadas:

- "**FACILIDADE DECLARADA**". Tem a ver com os sentimentos que uma primeira leitura do enunciado do problema desencadeava nos alunos, sobretudo os relacionados com a percepção cognitiva do grau de dificuldade da tarefa proposta. É evidente que esse grau de dificuldade é pessoal, variável de entrevistado para entrevistado. Constitui, admitimo-lo, um indicador da dimensão dos

constrangimentos afectivo-motivacionais induzidos nos alunos por esse primeiro contacto com o problema.

- "**NATUREZA DO PROBLEMA**". É uma categoria de tipo essencialmente metacognitivo. Está associada ao maior ou menor sucesso evidenciado por cada entrevistado, através da explicitação oral de alguns passos importantes das suas estratégias cognitivas, na identificação e caracterização do verdadeiro problema e da incógnita correlacionada.

- "**INFORMAÇÃO-CHAVE**". É também uma categoria essencialmente metacognitiva. Visa avaliar a maior ou menor facilidade, o maior ou menor êxito, manifestado pelo aluno na identificação da informação particularmente decisiva para resolver o problema. Implica o envolvimento de poderosas estratégias metacognitivas, como saber distinguir o essencial do acessório. Dela depende o tipo de plano concreto a implementar, a informação a retirar da memória, isto é, o conhecimento declarativo (factos, conceitos, regras e leis) e o conhecimento processual (processos e estratégias gerais e específicos) os quais condicionam a resolução com sucesso do problema.

- "**EXPLICITAÇÃO DO PLANO**". Tem por fim avaliar o grau de competência (compreensiva e extensiva) do entrevistado na explicitação das estratégias de resolução concebidas. Trata-se de uma das categorias em que a competência metacognitiva assume particular relevância e imprescindibilidade mesmo. Pode operacionalizar-se através da análise detalhada da natureza dos passos identificados nos protocolos, da sua adequabilidade e oportuni-

dade, da sua correcção e da capacidade do entrevistado em justificar as leis que utiliza e o momento em que as faz intervir. O entrevistado obterá uma classificação tanto mais elevada nesta categoria quanto maior for o êxito por ele revelado na verbalização de todos esses processos e na fundamentação dos seus passos e decisões.

Na classificação das respostas dos alunos, tendo em vista as categorias antes mencionadas, utilizou-se novamente uma escala hierarquizada de três graus: ELEVADO, MÉDIO ou REDUZIDO, conforme a apreciação que o entrevistador entendeu fazer do êxito do entrevistado em comportamentos consubstanciados por essa categoria. Derivámos nessa base o Quadro 50, estruturalmente idêntico ao Quadro 49, e assente no mesmo tipo de análise estatística.

Antes de passar à análise do comportamento das duas amostras em cada uma das categorias presentes no Quadro 50, torna-se conveniente explicar o porquê da existência nesse quadro de duas séries de valores referentes à aplicação do teste *U*. Uma delas (a primeira) diz respeito à comparação das diferenças entre as duas amostras completas. Na segunda, isto é, naquela cujos valores se encontram entre parêntesis, a comparação deixa de ser efectuada entre amostras completas: da amostra de controlo são nesse caso retirados dois alunos. Trata-se, exactamente, dos dois alunos desse grupo já repetidamente referenciados e cujo rendimento se mostrou atípico (pela positiva) nesse mesmo grupo. Dada a dimensão reduzida das amostras, e tendo em conta o facto de o seu desempenho na resolução oral do problema ser elevado em quase todas as categorias, pode acontecer estar a inclusão desses dois alunos a implicar distorções importantes. Daí termos decidido analisar as duas situações.

Quadro 50

Desempenho Oral Perante um Problema Concreto: Quadro Comparativo

		FREQUÊNCIA			*DIFERENÇA*	
CATEGORIA	**GRUPO**	**Elev**	**Med**	**Red**	**Teste *U***	
Facilidade Declarada	*E1*	5	4	1	U = 23,5*	p ≤ 0,10
	C	2	2	5	(U = 8,5**	p ≤ 0,02)
Natureza do Problema	*E1*	5	3	2	U = 27,0	p > 0,10
	C	2	2	5	(U = 12,0**	p ≤ 0,05)
Informação--Chave	*E1*	5	5	-	U = 22,5*	p ≤ 0,10
	C	2	3	4	(U = 7,5**	p ≤ 0,02)
Explicitação do Plano	*E1*	2	5	3	U = 29,0	p > 0,10
	C	1	2	6	(U = 14,5*	p ≤ 0,10)

** Pouco significativo ** Significativo*

• Os valores entre parêntesis referem-se à comparação entre os grupos, excluindo dois alunos de C

"**FACILIDADE DECLARADA**". Começa-se por destacar a classificação tendencialmente mais elevada obtida pela Amostra E1. Significa isso, possivelmente, que os sentimentos, a confiança, e a percepção cognitiva dessa amostra quanto à sua capacidade previsível de resolver o problema deverão ter sido em média comparativamente mais fortes. Essa inferência é concordante com inferência idêntica por nós extraída e referenciada, a propósito de mudanças ocorridas na gama de indicadores constitutivos do campo da experiência metacognitiva. Também aí os alunos do grupo experimental se distinguiam claramente dos seus colegas de controlo.

É "quase significativa" a diferença estatística entre ambas as amostras. O grau de significância aumenta quando da amostra de controlo são retirados os dois alunos a que antes aludimos. Podemos para já avançar ser essa uma constante em todas estas categorias. Isso tem possivelmente a ver

com o facto já mencionado de esses alunos estarem incluídos no grau mais elevado em todas as categorias, à excepção da última em que só um desses alunos aí se localiza. Ao saírem da análise, emerge entre as amostras uma consequente maior discrepância.

Em virtude da sua posição atípica no grupo de controlo, e tendo em vista a escassa dimensão das amostras, inclinamo-nos para considerar os valores entre parêntesis como eventualmente mais representativos das diferenças observadas, e mais em consonância com correlativas diferenças que, no mesmo âmbito, eram reflectidas pelos testes escritos.

"**NATUREZA DO PROBLEMA**". A situação é praticamente idêntica à anterior. A passagem de um aluno da E1 para o grau "reduzido" tem como consequência a perda de algum significado das diferenças, quando se considera a amostra de controlo na sua globalidade.

"**INFORMAÇÃO-CHAVE**". A distribuição de efectivos nesta categoria denota um desempenho de E1 nitidamente superior ao da amostra de controlo. Facto que nem sequer nos admira, atendendo a que o treino dessa competência foi um dos mais intensivos e o desenvolvimento da mesma um dos mais conseguidos. Como consequência desse desempenho claramente distinto em termos de efectivos, resulta significativa a diferença entre as duas amostras.

"**EXPLICITAÇÃO DO PLANO**". Trata-se da categoria em que, como aliás previámos (e como o prevê a literatura), os alunos experimentaram maiores dificuldades e bloqueamentos. Mesmo a Amostra E1 acaba por evidenciar um desempenho tendencialmente abaixo da média mas, de qualquer modo, significativamente mais elevado do que o da Amostra C.

A *concluir* este capítulo, parece-nos lícito afirmar que, no que toca a opiniões e desempenhos oralmente verbalizados, a tendência, no cômputo geral, orienta-se no sentido de a amostra experimental sair favorecida no confronto com a de controlo. A primeira manifesta opiniões mais positivas a propósito de algumas pedras-angulares da metodologia de resolução de problemas utilizada. Revela, além disso, e pese embora as dificuldades também nela detectadas, desempenho superior em todas as categorias de resolução de problemas.

Consequentemente, a abordagem experimental parece superar claramente a abordagem tradicional, no que tem a ver, neste caso concreto, com o sucesso dos alunos na resolução oralizada de problemas de física, problemas esses não confinados às estritas formulações e tipologias tradicionais, fortemente restritivas do desenvolvimento da competência intelectual do aluno.

Física do dia a dia
toda colada ao sensível
me dá para navegar
bússola do previsível

mas a que paire mais alto
tão alto que nem se veja
me dará prémio maior
o que imprevisível seja

Agostinho da Silva

CONCLUSÃO

Do Quantitativo ao Qualitativo, da Mudança Conceptual ao Aprender a Pensar: Novos Rumos para o Ensino-Aprendizagem da Física

O Mito do Quantitativo e a Obsessão pela Fórmula: Alguns Efeitos Perversos

Foi preocupação recorrente ao longo deste trabalho deixarmos bem vincados os matizes fundamentais da nossa postura epistemológica de base. Afirmámo-nos partidários de uma actuação que, às rupturas extremas, prefere a busca de sinergias. Isso o deixámos desde logo afirmado no capítulo de introdução, particularmente a partir do ponto em que decidimos tomar a figura eclética de Vygotsky como espécie de émulo da nossa conduta; voltámos a reafirmá-lo no capítulo 5, quando, à "guerra" habitual entre orientações quantitativas e qualitativas no mundo da pesquisa educacional, contrapusemos o diálogo e a cooperação mútuos; e repetidamente o voltámos de novo a reafirmar nas alturas em que, a propósito de habituais antagonismos muitas vezes artificialmente criados — por exemplo, os imputáveis aos binómios conhecimento quantitativo-conhecimento qualitativo, conhecimento declarativo-conhecimento processual, conhecimento científico-conhecimento espontâneo —, nós preconizámos a procura de relações dialécticas que, sem escamotearem as diferenças, fossem susceptíveis de potenciar afinidades e convergências porventura mais profícuas.

Mas há-de haver sempre um tempo em que forçoso é tomar partido, em que imperioso se torna entrar em ruptura deliberada com vectores que consideremos perniciosos. Isso não significa só por si inconsistência de

princípios; significa tão-só consciência de nocividades. E é pela consciência das nocividades existentes a nível pedagógico que nós achamos não restar outra alternativa senão a de entrar em ruptura deliberada com certos aspectos das abordagens tradicionais de ensino-aprendizagem da física, particularmente da resolução de problemas em física, pelos efeitos perniciosos que esses aspectos implicam, pelos vícios perversos a que os mesmos conduzem.

Entre esses vícios, o chamado "operativismo cego" (Gil Pérez, 1987; Gil Pérez e Martinez Torregrosa, 1983a, 1983b; Larkin e Reif, 1979; Larkin et al., 1980; Reif, 1983a, 1983b), assente no primado do quantitativo e na consequente obsessão do aluno pela fórmula, não será, estamos em crer, o menos nocivo — como salientava Einstein, nenhum cientista pensa com fórmulas. Se ao menos essas opções conduzissem a algo de positivo, poderíamos pensar que se autojustificariam. Mas a verdade é que tal não acontece (Schoenfeld, 1989). Mesmo funcionando a um nível de simples automatismos, da pura e acrítica mecanização, de uma memorização meramente reprodutiva, ainda assim as "sacrossantas" fórmulas acabam sempre por constituir-se em "fantasmas pedagógicos" a atormentarem a cabeça da maior parte dos alunos, criando-lhes bloqueamentos decisivos, medos e temores (in)justificados. Revemos aqui a crítica que Holt (1982) endereça à escola quando, em certo sentido, a considera culpada da "destruição da inteligência dos alunos", muito por influência dos estados de ansiedade que neles induz.

Ora foram exactamente estados afectivos dessa natureza aquilo que tivemos ocasião de detectar numa das entrevistas que realizámos e na qual interveio um par de alunos do grupo de controlo. Pela importância que neste contexto essa entrevista nos parece assumir, reproduzimos, mais em

baixo, uma parte significativa da mesma. Sabemos bem que um caso favorável a um dado acontecimento não faz desse acontecimento lei ou regra geral. No entanto, tendo em conta o facto de o grupo de controlo ter seguido, genericamente, uma abordagem tradicional, e pelo que deixámos expresso na parte de revisão teórica, julgamos que, embora em tom algo extremado, e mesmo caricaturado, o excerto que a seguir apresentamos acaba por ser representativo dos sentimentos e experiências contraproducentes que as abordagens tradicionais de física costumam fazer germinar nos alunos.

Por outras palavras: é nosso entender que a entrevista aqui em causa não deixa de ser um exemplo bem ilustrativo (e até significativo) do que na introdução afirmávamos em tom declaradamente metafórico: a resistência dos "anticorpos" criados pela generalidade dos alunos e que impedem o seu (neste caso desejado) contágio pelo "vírus da alegria da física":

M.— Química é fácil; física é mais difícil.
E.— *Mais ou muito mais?*
M.— Muito mais!
E.— *Em que aspecto é que é mais difícil?*
M.— Por causa das *fórmulas* ... É preciso muita matemática.
E.— E tu que pensas, O.?
O.— A mesma coisa.
...
E.— *Estou a ver que você deram-se melhor com a química. Quando vão ter de estudar física, sentem-se um pouco contrariados, causa-vos algum horror?*
M.— Um pouco, se eu entendesse não causava.
E.— *Mas assim, como achas que não entendes, causa-te assim uma certa...*
M.— Sei lá! *Medo* !
E.— *Medo?!*
M.— Sim (...) já sei que não entendo nada daquilo... estar ali a estudar ainda me confunde mais.
...

E.— *E comparando física com matemática, distinguem-nas ou acham que as duas são parecidas?*

O.— A física tem matemática... para aplicar lá com as *fórmulas...*

E.— *Então, ao que me parece, na tua ideia considerarias a física ainda mais difícil que a matemática?*

O.— E acho!

E.— *Portanto dá a impressão que a física para além de ter a dificuldade da matemática ainda tem algo que lhe é próprio...*

O.— Sim!

E.— *O quê?*

O.— Na matemática é só chegar lá e resolver ... e na física temos que achar as *fórmulas* e fazer os cálculos.

...

E.— *Compreendiam a linguagem utilizada nas aulas de física e no livro?*

M.— Poucas vezes.

...

O.— Umas coisas sim, outras nem por isso.

E.— *O que é que vocês menos entendiam?*

...

E.— *Eram as palavras em si?*

M.— Não! O que eu não entendia bem eram as *fórmulas.*

E.— *Ah, as fórmulas!*

M.— A gente, por exemplo, ... decoro as *fórmulas* e entendo as *fórmulas.* O pior depois é aplicá-las nos problemas.

E.— *É isso que te custa?*

M.— É. Eu troco-as todas.

E.— *Lembram-se de algum assunto que vos tenha custado especialmente a entender?*

...

M.— O pior de tudo é os problemas !

E.— *Também é para ti, O.?*

O.— É para toda a gente.

E.— *Passemos então agora aos problemas. Pelos vistos acham-nos difíceis?*

M.— Acho que sim.

E.— *Mas o vosso problema parece serem as fórmulas, não saberem bem as que devem aplicar?*

M.— É.

E.— E o enunciado dos problemas, compreendiam-no?

M.— Eu o enunciado compreendia ... *o pior eram as fórmulas.* Eu lembro-me de uma *fórmula* e vou aplicar o que está no enunciado à *fórmula*... Só que se eu erro a *fórmula,* erro tudo.

...

E.— *Qual é o aspecto que pensam ser decisivo para saber resolver problemas* ?

O.— Compreender o enunciado...

M.— *Saber aplicar a fórmula.*

E.— *Acham que é necessário ser-se bom a matemática para saber resolver problemas de física?*

M.— Sim.

E.— *Mas todos os problemas necessitam de matemática?*

...

E.— *Não resolvemos problemas sem matemática?*

M.— Têm sempre contas!

E.— *Quer dizer que para vocês só é problema aquilo que tem fórmulas?*

M.— Não.

E.— *Então qual é a diferença entre um problema que exige fórmulas e um que não exige?*

...

E.— *É mais fácil o que exige ou o que não exige?*

Ambos (de pronto)— O que não exige.

E.— *Pelos vistos, as fórmulas é uma coisa que vos preocupa bastante. Elas constituem uma angústia para vocês?*

Ambos— Sim!

E.— *Digam-me agora em qual [dessas etapas] sentem mais dificuldades.*

O.— Executar o plano.

M.— Recordar a informação necessária.

E.— *Porque tens dificuldade em executar o plano, O.?*

...

E.— *O que é para ti difícil nesse aspecto?*

Ambos— *As fórmulas.*

E.— *Novamente as fórmulas. E tu M., no que respeita a recordar a informação necessária?*

M.— A dificuldade são as *fórmulas,* também.

E.— *De novo me parece que vocês estão um bocado traumatizados com as fórmulas, não* ?!

M.— *Muito* !

...

E.— *Como é que vocês têm consciência que pensam? Para afirmarem que pensam nesse plano é porque têm consciência de que o fazem.*

M.— Por exemplo, no ponto, tinha lá uma pergunta que era para a gente dizer os passos que ia fazer para resolver ... já ajuda.

E.— *Mas tu tens consciência de que estás a pensar no plano, ainda que não fales, que o faças em silêncio?*

M.— Tenho.

E.— *Como é que tens consciência?*

M.— Porque...

E.— *O que é que tu sentes na tua cabeça* ?

M.— *Uma grande confusão* !

...

M.— *Tudo baralhado...*

E.— *Mas o que é que está baralhado* ? O que é que anda lá a bailar?

M.— *As fórmulas* !

Aquilo que de imediato ressalta do excerto precedente é a *figura omnipresente das fórmulas.* É, desse modo, a superestrutura quantitativa da física a camuflar totalmente os alicerces qualitativos da disciplina. Essa omnipresença acaba naturalmente, e como antes assinalávamos, por provocar sérios bloqueamentos afectivos, impedindo, nomeadamente, a génese de experiências metacognitivas favoráveis. Bloqueamentos bem retratados na sensação de "medo" que um dos alunos confessa sentir ao estudar física, sensação para a qual as fórmulas da física decisivamente contribuem; ou também quando, de forma franca e categórica, o mesmo aluno reconhece estar "muito" traumatizado com essas mesmas fórmulas.

Ainda neste contexto, vale a pena discutir uma outra situação (das muitas que inventariámos), em que são também visíveis e notórios os efeitos perversos das abordagens de física que sobrevalorizam a dimensão quantita-

tiva do conhecimento, com a agravante de se tratar de um conhecimento rotineiro, meramente operatório (Schoenfeld, 1989).

Tal situação encontra-se neste caso ligada a outro vício do ensino-aprendizagem da física e também da matemática: o *vício da regra de três.* Ela emergia da análise do conteúdo das respostas dos alunos ao Item 1 do *Teste de Pensamento Lógico,* item que, recordamo-lo, começava por requerer dos alunos uma resposta quantitativa, baseada na operação de proporcionalidade directa (regra de três), para, de seguida, lhes solicitar uma explicação qualitativa justificativa do procedimento quantitativo utilizado.

Muitos foram os alunos que assinalaram a resposta quantitativa correcta, mas que optaram por uma justificação qualitativa incongruente; isto é, muitos foram aqueles que conseguiram resolver a tarefa com base na aplicação mecanizada da regra de três, mas que se viram incapazes de assinalar a justificação qualitativa que legitimava aquela aplicação. Várias e importantes são as inferências daí decorrentes:

1. Uma coisa é aplicar regras quantitativas de forma automática; outra, bem diferente, é saber explicar aquilo que de qualitativo subjaz a esse processamento (Chi et al., 1981; di Sessa, 1987; Jung, 1985; Larkin et al., 1980a, 1980b). Este último comportamento implica não já processos de pensamento automáticos, mas mecanismos de pensamento e conhecimento consciencializados, isto é, metacognitivos. A mitificada regra de três, aparente poção milagrosa para a resolução de grande parte das tarefas quantitativas e rotineiras escolares, falha rotundamente quando níveis de abordagem mais elevados se reclamam. E mal vai a escola que incentiva a acentuação desse mito, sem cuidar de desenvolver

(progressivamente, é claro) sustentáculos cognitivos alternativos (de tipo qualitativo) susceptíveis de o desmontar (Reif, 1983b).

2. E mal vai também a aprendizagem da física quando esse vício e outros relacionados imperam. A operação de proporcionalidade (directa ou inversa) é crucial para a construção do edifício teórico da física. Apesar de, no mundo real, a existência de uma relação de proporcionalidade simples ser mais a excepção do que a regra, no mundo das leis e teorias físicas essa relação (ou operação) é fundamental. E compreendê-la não é, com efeito, o mesmo que manipular a fórmula ou a relação matemática que a representa. Isto porque uma fórmula, por mais útil e indispensável que se revele, nunca consegue explicitar toda a teia de parâmetros que é necessário controlar para que a proporcionalidade que ela representa seja possível. Por exemplo, só existe proporcionalidade directa entre a diferença de potencial aplicada a um condutor e a intensidade de corrente que em resultado o percorre, se o condutor for homogéneo e isótropo, se não variarem o material de que é feito, o comprimento e a área da secção e se a sua temperatura se mantiver constante. A fórmula $V/I = Cte$ (ou seja, a tradução matemática da referida proporcionalidade) não consegue de modo nenhum subsumir esse leque de condições, restritivas do seu domínio de aplicabilidade.

O *vício da regra de três* e o *mito da proporcionalidade directa* são, assim, fantasmas que um "bom ensino", um "bom professor", ou um "bom manual" de física têm forçosamente de combater. Como devem combater aquilo de que esse vício ou esse mito são apenas uma manifestação: a ênfase exagerada no quantitativo, que passa por ser, como diz Osborne

(1990), uma das "vacas sagradas" da educação em física. Até porque, como também pensa Hewitt (1983) — e passe a visão algo idílica do autor —, "o estudo da física é demasiado importante, demasiado fascinante, demasiado belo" para que fique reservado àqueles (poucos) que têm queda para as matemáticas.

Só que esse combate leva muitos autores a caírem — por reacção natural — no pólo oposto, ou seja, a sobrevalorizarem agora a vertente qualitativa. Entre eles se contam alguns dos que advogam como meta preferencial para a educação em ciências a ocorrência nos alunos de uma efectiva e significativa mudança conceptual (Champagne Gunstone e Klopfer, 1985a, 1985b; Halloun e Hestenes, 1985a, 1985b; Hewson, 1981; Novak, 1987; Posner et al., 1982; R. Whitaker, 1983).

Corresponderia ela à suposta substituição do conhecimento espontâneo, assistemático e pouco consciencializado, pelo conhecimento científico, sistemático e necessariamente mais consciencializado. Todos os esforços didácticos deveriam, desse modo, convergir por forma a levar os alunos a essa mudança. Colocadas as coisas dessa forma, é agora ao conhecimento conceptual (parte do conhecimento qualitativo e declarativo) que é atribuída a parte de leão. É na dimensão estática do conhecimento que é posta a ênfase dominante; a vertente mais dinâmica (o conhecimento processual) acaba por ficar assim nitidamente desfavorecida.

Avançámos já razões que nos levam a considerar ser essa uma perspectiva parcial e, por isso, pedagogicamente inadequada: por um lado, e pelo que antes ficou exposto, por quase ignorar umas das vertentes fundamentais do conhecimento; por outro lado, porque existe algum fundamento psicológico para acreditar ser a mudança conceptual pura um acontecimento

altamente improvável e, nesse sentido, uma meta educacional pouco frutífera.

Vale a pena frisar que é a mudança conceptual pura, enquanto modelo ideal (Posner et al., 1982), que estamos a pôr em questão. Não negamos, obviamente, a possibilidade de ocorrer mudança conceptual. Mesmo sem a acção da escola, ela estará sempre a acontecer, porque essa é uma característica intrínseca do homem enquanto ser que pensa (Kelly, 1963, 1991). Mas a mudança de concepções espontâneas para concepções científicas, a realizar-se significativamente, será sempre um processo evolutivo e continuado no tempo. Essas são asserções que o nosso estudo permitiu para já reforçar, particularmente no que tem a ver com as inferências provenientes do seu *corpus* qualitativo.

Mudança Conceptual em Mecânica: Reafirmação de uma Utopia

Não é do dia para a noite que uma pessoa vai mudar as suas ideias, ideias que *durante toda a vida vai aprendendo* e que *no dia-a-dia vê-se mesmo pela experiência que são assim.* Por exemplo, *meter na cabeça, assim de uma maneira qualquer,* que uma bola, lançada ao ar na vertical, não está, enquanto sobe, submetida a uma força no sentido do movimento, *é algo que não encaixa assim logo à primeira.* Esta é, no essencial, a mensagem implícita que, através do excerto que a seguir reproduzimos, um dos alunos entrevistados nos quis transmitir, a propósito da antes afirmada (Guidoni, 1989; Shuell, 1987) dificuldade de ocorrência de uma mudança conceptual efectiva, particularmente em áreas como mecânica :

E.— *A gente tem uma linguagem derivada da nossa vida corrente. Essa linguagem é idêntica à que se utiliza na aula de física?*

S.— Não, é lógico que não.

E.— *Porquê?*

S.— Então, porque na física utilizam-se termos técnicos. Sei lá: por exemplo dá-se deslocamento e espaço e pode haver pessoas que façam confusão entre deslocamento e espaço.

E.— *E porque podem elas fazer confusão?*

S.— Porque lá fora é praticamente a mesma coisa.

E.— *E em termos, por exemplo, da força, também notaste assim algum conflito?*

S.— Sim. Por exemplo: aquilo que agora estávamos a dar era o peso... e que dizia que não, que não havia nenhuma força aplicada quando se mandava um corpo para cima, que apenas era uma velocidade e... quer dizer, *meter isso na cabeça, assim de uma maneira qualquer, não encaixa assim logo à primeira.*

E.— *Interessante. Portanto, tu achas que meter na cabeça de uma pessoa que quando um corpo sobe no ar não há uma força para cima, isso é uma coisa que não entra com facilidade, é isso?*

S.— Pois ... (rindo) eu... eu quando mando assim qualquer coisa, nem que seja mandar a minha mão para cima, eu estou a exercer uma força com que ela vá para cima. Acho que não é só a velocidade! Ah, e depois eu digo, eu acho ... A professora estava-me a dizer que não, que eu estava a ter um raciocínio errado. Só que eu dizia que havia, (...), quando aplicava uma força ou quando havia uma velocidade estava a ser aplicada uma força e depois... parece, afinal, que não é! ...

E.— *Em termos da física, não é, de facto. É que, como tu sabes, quando falamos em força, convém pensar na interacção que lhe dá origem. A força, em física, essencialmente representa uma interacção. E repara: se tu atiras um corpo ao ar, houve, na verdade, uma interacção; só que essa interacção foi praticamente instantânea, deixa depois de existir.*

S.— Então, no momento em que atiro tem de existir força!

E.— *Sim, nesse momento existe. Mas depois a força parou, porque só há força enquanto durar a interacção. Mas tu tens toda a razão: isso é extremamente difícil de entrar na cabeça dos alunos. É extremamente difícil a gente abandonar as nossas ideias do dia-a-dia e dizer: Agora, entro para a sala de aula, e dispo-me de todas as ideias que tenho e só vou pensar nas da física. Isso é difícil! Porque será que é difícil?*

...

E.— *Porque será difícil a um aluno, ao chegar aos portões da escola, dizer assim: Agora vou abandonar as ideias cá da rua porque só me estão a prejudicar para eu perceber física ?*

S.— Porque *a pessoa, durante toda a vida, vai aprendendo certas coisas que no dia-a-dia vê-se mesmo pela experiência ... que são assim.* Porque, por exemplo, quando a gente manda uma bola para cima, pensamos que sim, que está a haver uma força a mandá-la para cima. Acho que também *não é do dia para a noite que uma pessoa vai mudar as suas ideias.*

Desse modo, simples mas sugestivo e categórico, vem o aluno ao encontro do que no referencial teórico defendemos acerca da real utopia de que enferma o modelo da mudança conceptual, se tomado como meta e fio condutor preferenciais para a educação em ciências. Mas essa sintonia entre a convicção do aluno e as nossas previsões teóricas não constitui no nosso estudo suporte empírico isolado para aquela asserção. As conclusões gerais no que diz respeito a transformações ocorridas nos sistemas de construtos pessoais dos alunos, relacionadas com o binómio força-movimento, são de molde a reforçar essa mesma convicção.

A radiografia efectuada ao estado inicial do conhecimento qualitativo dos alunos, de algum modo identificado com a relação força-movimento, parecia, com efeito, apontar para o diagnóstico inicialmente previsto: ser esse conhecimento, na sua essência, formado por sistemas de construtos espontâneos puros ou por sistemas de construtos derivados de uma simbiose de concepções espontâneas com concepções científicas formais. E isso não era muito diferente para ambos os grupos estudados (Grupo E1 e grupo de controlo).

Em termos de mudança conceptual, da ocorrência de transformações qualitativas e quantitativas profundas nesses sistemas de construtos, as coisas não se alteraram significativamente com a intervenção. O que na rea-

lidade transparecia daquela radiografia final era que grande parte das categorias conceptuais espontâneas identificadas à partida continuavam à chegada a fazer valer os seus direitos. E se o diagnóstico traçado no tocante a mudanças parecia indicar agora uma ligeira vantagem do grupo experimental, comparativamente ao de controlo, o que é verdade é que as enormes dificuldades também evidenciadas pelo primeiro grupo, nalguns aspectos nucleares da estrutura daquele binómio, mau grado o treino sistemático e específico de que beneficiou, levam-nos a concluir, na senda de estudos idênticos, como por exemplo os de D. Brown e Clement (1991) ou Hewson e Hewson (1984), ser essa ligeira vantagem apenas relativa. A mudança conceptual pura, concebida como um objectivo substantivo viável, não deixou de revelar-se antes uma miragem.

Julgamos serem suficientemente sintomáticas as conclusões antes apresentadas para, em conjunção com a argumentação expendida no número 3.1, tornar legítimas algumas implicações pedagógicas que a seguir julgamos oportuno formular, no que toca à necessidade de serem encontradas alternativas ao modelo da mudança conceptual, como justificação primeira para a razão de ensinar ciências e, em especial, de ensinar física, na escola básica e secundária.

Dos Equívocos da Mudança Conceptual à Sinergia Conteúdos--Processos de Pensamento

Ao longo do trabalho, pudemos concluir que tanto a investigação empírica como a análise teórica não são de molde a augurar grande justificação para o optimismo comungado pelos partidários do modelo da mudança conceptual. Dir-se-ia mesmo que, em nosso entender, a mudança

conceptual, enquanto objectivo primordial para o ensino das ciências, releva de alguns equívocos que importa explicitar:

1. Ao advogar, como grande finalidade para o ensino das ciências, a substituição do conhecimento espontâneo pelo conhecimento científico, o modelo acaba por visar metas educativas inatingíveis, irrealistas e redutoras:

- Inatingíveis, na medida em que o carácter endógeno, estrutural e idiossincrático dos construtos pessoais espontâneos torna, à partida, bastante improvável o "abandono" pelo aluno desses construtos.

- Irrealistas, porque a enorme variabilidade interindividual e intra-individual de construtos existentes nos alunos de uma turma inviabiliza, praticamente, a possibilidade de o professor, lançando mão de um conjunto restrito de estratégias "promotoras da mudança", atingir todos esses construtos, no sentido de levar os alunos que os possuem a deles abdicarem em favor dos construtos científicos. Irrealistas, ainda, porque não é com o escasso tempo que a escola costuma proporcionar ao desenvolvimento dessas estratégias que é possível operar qualquer mudança significativa, muito menos a mudança conceptual radical (assimilação com acomodação). O desenvolvimento de conceitos é um processo longo e nunca acabado, qualidades pouco compatíveis com a rapidez com que essas estratégias são quase sempre implementadas. A história da ciência, particularmente a história da mecânica, fornecem-nos exemplos bastante elucidativos a esse respeito. Basta lembrar as dificuldades que cientistas famosos como

Galileu ou Newton tiveram em abandonar — será que, numa perspectiva psicológica e até sociológica, terão mesmo abandonado? — a ideia de *impetus* herdada da ciência medieval.

- Redutora, na medida em que essas orientações acabam por sobrevalorizar uma componente do conhecimento científico (a conceptual) em detrimento da outra componente (a processual) não menos importante.

2. Ao admitir que o conhecimento espontâneo carece de validade educativa, havendo assim que o "combater" sempre que ele possa colidir com o conhecimento científico, o modelo acaba por estabelecer antagonismos e nocividades não isentos de parcialidade:

- Antagonismos, dado que na interface conhecimento espontâneo-conhecimento científico vê apenas conflitos, ignorando possíveis sinergias; vê rupturas totais onde pode haver também interacção dialéctica. Muitas vezes, aliás, localizam-se, antagonismos onde eles afinal não existem: dizer que é necessária uma força para manter um corpo em movimento ou que os corpos não caem todos ao mesmo tempo não são, de modo nenhum, suposições erradas no mundo real, um mundo de atritos. Quer dizer: a mudança conceptual como que parece visar um aluno inserido num mundo afinal fictício: o mundo lógico dos conceitos, com escassa ligação ao mundo psicológico e sociológico da realidade envolvente.

- Nocividades, na medida em que, em conformidade com os antagonismos anteriores, releva-se apenas alguma influência negativa que o conhecimento espontâneo possa ter na aprendizagem do conhecimento científico, ignorando o papel que, qual língua ma-

> terna na aprendizagem de uma língua estrangeira, o conhecimento espontâneo possa desempenhar. Ignorando, ainda, que os construtos pessoais, mesmo se incompatíveis com os cânones formais, têm uma função adaptativa, na medida em que potenciam a integração dos indivíduos em vários contextos, sem que esses indivíduos tenham necessariamente de entrar em ruptura com os seus próprios (e idiossincráticos) sistemas de construtos.

Mas a coexistência de referenciais diferentes (e, em larga medida, incompatíveis) na mente de um mesmo indivíduo não trará problemas a esse indivíduo? Solomon (1983) dá a entender que eles não serão mais gravosos do que os que decorrem do conhecimento por esse indivíduo de duas ou mais línguas comunicacionais. A coexistência de sistemas ou subsistemas diferenciados de construtos é também algo que, como vimos, a própria teoria de Kelly (1963, 1991), e especificamente o seu *corolário da fragmentação,* prevê.

Ao criticarmos a validade do modelo da mudança conceptual como finalidade principal para o ensino das ciências não é, de modo nenhum, nossa intenção subvalorizar a importância educativa dos conceitos científicos. O nosso considerável apoio na teoria de Vygotsky é, aliás, um indicador de que, antes pelo contrário, é nosso lema reforçar a importância desses conceitos. Se é verdade que o conhecimento espontâneo sai da conceptualização de Vygotsky merecidamente reabilitado, também acontece, com efeito, que essa reabilitação não é feita à custa do conhecimento científico. Este, ao contrário do que acontece em muitos formalismos supostamente virados exclusivamente para a sua valorização, tem em Vygotsky um estatuto educativo preferencial; aliado, aliás, à importância que esse autor

confere à aprendizagem escolar no desenvolvimento do aluno, nomeadamente no desenvolvimento dos seus processos cognitivos superiores.

A aprendizagem dos conceitos científicos será assim, e sempre, uma meta a prosseguir, qualquer que seja o prisma sob que seja analisada esta problemática da educação em ciências. E sê-lo-á pelos seguintes motivos:

- pelo papel que eles desempenham no desenvolvimento cultural e psicológico do aluno, nomeadamente no seu desenvolvimento metacognitivo;

- pela sua importância na tomada de consciência do conhecimento espontâneo, garantindo uma maior sistematização e avaliação desse conhecimento, com relativa maior autonomia do aluno face ao imediatismo da sua percepção sensorial.

Mas ainda que importante, ela não deve constituir um fim em si mesma. A própria aprendizagem dos conceitos científicos, de acordo com a perspectiva vygotskiana, arrasta outro tipo de preocupações: as que se relacionam com o desenvolvimento cognitivo do aluno, desenvolvimento que os conceitos científicos só por si não poderão assegurar. É necessário que, com eles, sejam criadas situações problemáticas que, sendo adequadas à zona do desenvolvimento potencial de cada aluno, levem esse aluno a pensar, ou seja, a adquirir as ferramentas mentais que lhe permitam edificar o seu edifício intelectual, com base nos "tijolos cognitivos" que, metaforicamente, os conceitos científicos podem constituir.

Tudo isso não implica, repetimo-lo, que se deva descurar a necessidade de os alunos aprenderem conceitos, ou seja, de desenvolverem a dimensão qualitativa do conhecimento e do pensamento. Embora sem deixar que a

superestrutura quantitativa da física abafe totalmente as suas fundações qualitativas, não se pode perder de vista que a física é, a um tempo, qualitativa e quantitativa. Ambas as dimensões, em convergência, são necessárias à construção do edifício científico. E, geridas com parcimónia e sentido de oportunidade, ambas são igualmente importantes e imprescindíveis ao desenvolvimento cultural e intelectual do aluno.

A nossa abordagem tem por lema esse pressuposto e aquela necessidade de convergência. Analisado o *impacte* da mesma, sobram os motivos para, em traços gerais, podermos reivindicar a justeza das nossa posições, sobretudo se forem tidos em conta os condicionalismos com que trabalhámos: aulas reais, submetidas a toda uma série de constrangimentos reais, vivos e diversificados. Feito o balanço global do nosso estudo, confrontados resultados com hipóteses de partida, existem, a nosso ver, razões suficientes para podermos afirmar terem algumas dessas hipóteses recolhido evidência inequívoca, apesar de para outras terem apenas emergido sinais da sua plausibilidade. Isso o passamos a sintetizar já de seguida, não sem que antes julguemos importante apresentar as grandes linhas do método didáctico de resolução de problemas quantitativos de física que, em clara e deliberada tentativa de ruptura com os cânones e os vícios das didácticas tradicionais, decidimos ensaiar.

Em Ruptura com as Didácticas Tradicionais: Onde se Renova a Convicção de que a Resolução Metacognitiva de Problemas é um Objectivo Educacional Relevante e Viável

Fundamentos do Método Didáctico de Resolução de Problemas Utilizado

A ênfase de Vygotsky na interacção sócio-linguística levou-o, como vimos anteriormente, a preconizar uma educação escolar dialógica, tese que está contida na sua noção de zona do desenvolvimento próximo. Esse tipo de interacção é, assim, a que melhor preenche os requisitos necessários no sentido de fomentar o desenvolvimento do aluno. Mas ainda que preenchendo esses requisitos, ela não é só por si suficiente para garantir que esse desenvolvimento se efective. Com efeito, como decorre da noção de *zona do desenvolvimento próximo,* o desenvolvimento de cada aluno está condicionado, simultaneamente, por duas contingências: pela interacção verbal que ele terá de estabelecer com o professor e pela compatibilização entre o nível de exigência da tarefa e o nível de desenvolvimento potencial desse aluno (Garrett, 1988).

1. Abordagens exclusivamente apoiadas na resolução de "problemas" rotineiros pouco contribuirão, como antes o dava a entender Schoenfeld (1989), para o desenvolvimento nos alunos de competências metacognitivas. É provável que, para a maioria deles, esse tipo de tarefas se localizem aquém das respectivas zonas de desenvolvimento próximo. É, por isso, escassa a probabilidade de elas induzirem estados psicológicos que favoreçam a génese de experiências metacognitivas que levem o aluno a envi-

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

dar esforços intencionais e conscientes, esforços esses que impliquem nele a necessidade de avançar para além do seu estado cognitivo actual. Na verdade, como diz (Flavell, 1987), as experiências metacognitivas potenciadoras de desempenho metacognitivo têm maior probabilidade de acontecer quando a situação cognitiva se encontra algures entre o completamente novo e o completamente familiar, ou seja, na zona de desenvolvimento próximo. Nesta ampla gama de possibilidades, o aluno sabe o suficiente para formular questões e hipóteses de trabalho, mas não o bastante para que o processamento seja completamente automático e sem esforço.

2. As abordagens apoiadas em problemas demasiado difíceis — é prática escolar corrente, sobretudo em disciplinas como matemática e física, estabelecer-se uma identificação (total ou parcial) entre "tarefa difícil" e "problema" — constituem o caso diametralmente oposto. Também elas serão, em princípio, inibidoras do desenvolvimento. Dada a sua dificuldade extrema, uma hipótese a admitir é o aluno solicitar a ajuda do professor. Mas, em virtude da própria definição de zona do desenvolvimento próximo, dessa ajuda pouco ou nada o aluno beneficiará. Pensando agora no plano da iniciativa individual, ou seja, supondo que o aluno decide entregar-se à tarefa por seus próprios meios, mais uma vez, e ainda com menor probabilidade, a iniciativa resultará mais ou menos falhada no que toca ao desenvolvimento. A probabilidade de ocorrerem experiências metacognitivas é, de novo, reduzida. Algumas que possam acontecer, é muito possível que dêem origem a estados afectivos geradores de desmotivação, com

consequente desistência logo de início. No caso, improvável, de o aluno persistir na tentativa de realizar a tarefa, é mais uma vez a definição de zona do desenvolvimento próximo a excluir a possibilidade de os esforços encetados originarem crescimento intelectual.

3. É fácil perceber que apenas as situações problemáticas compatíveis com a zona de desenvolvimento próximo de cada aluno — ou com a zona pessoal de interesse óptimo, de que fala Garrett (1988) — são susceptíveis de levar esse aluno a desenvolver o seu potencial cognitivo e metacognitivo. Como acontecia no caso precedente, não será da iniciativa individual que advirá esse desenvolvimento, não obstante o facto de, como se compreende, a probabilidade de isso acontecer ser agora mais elevada. Está-se perante uma situação particularmente favorável ao desencadear de experiências metacognitivas, desta vez potenciadoras de estados de motivação para a resolução do problema. A novidade da situação é agora suficientemente moderada para, por um lado, evitar o bloqueamento imediato dos mecanismos motivacionais do aluno e, pelo outro, garantir um nível mínimo de conflito cognitivo que, de acordo com Flavell, é necessário à activação desses mecanismos. Garantida, assim, a imprescindível motivação, a ajuda do professor completará os restantes requisitos. Quer dizer, neste caso, em cooperação e diálogo, o aluno será agora capaz de resolver o problema e, no futuro, conseguirá, pelo menos potencialmente, resolver problemas semelhantes. Entretanto, os seus recursos intelectuais terão sido ampliados, graças à interiorização dos conteúdos e processos de controlo que

o professor lhe proporcionou, durante o tempo que durou a interacção comunicacional entre ambos.

Adesão dos Alunos ao Método de Resolução de Problemas

Foi naquele pressuposto que decidimos optar pelo recurso a *situações problemáticas intermédias* entre os problemas académicos típicos e os problemas da vida real puros. Estávamos convencidos de que, para além de mais consonantes com as exigências antes mencionadas, esses problemas se revelariam, por isso, mais "realistas" do que os da vida real, apesar de menos abertos e menos susceptíveis de incentivar o desenvolvimento do pensamento crítico e criativo dos alunos e da sua metacognição.

A evidência acabou por nos dar razão, tendo em conta o impacte claramente positivo que esses problemas acabaram por ter nos alunos dos grupos experimentais. Estes não parecem ter experienciado constrangimentos inexoráveis relativamente a esses problemas, tendo antes a eles aderido, por vezes incondicionalmente, como bem o comprovam as suas opiniões veiculadas através das entrevistas. Julgamos ser este um dado importante no reforço das conclusões extraídas, na medida em que as entrevistas possibilitam que o aluno desenvolva e explicite as suas argumentações, não se limitando a colocar simples marcas na folha de respostas de um qualquer questionário, com toda a aleatoriedade que esse tipo de escolha pode implicar e implica necessariamente.

Esse *impacte positivo* veio a ter reflexos correlativos na adesão desses alunos a diversos vectores da abordagem ensaiada, nomeadamente:

- ao *método didáctico de resolução de problemas* preconizado — método sistemático de orientação metacognitiva, mais explicitado e mais verbalizado do que os métodos habitualmente utilizados;
- aos *enunciados dos problemas* — enunciados extensos e descritivos, em vez de enunciados curtos e condensados;
- aos *materiais de apoio* fornecidos — "fotocópias", como os alunos os designavam.

Método de resolução de problemas. É particularmente importante, pelo termo de comparação que proporciona, a opinião dos alunos repetentes — que os havia em abundância no Grupo E1 —, no que diz respeito ao impacte que neles o referido método terá tido:

E.— *Concretamente tu, B., que já frequentaste o 10.º ano o ano passado, não te apercebeste de diferenças entre o método de resolução de problemas desse ano e o deste ano?*
B.— Acho que sim. *Houve uma diferença.*
E.— *Em que aspecto?*
B.— É que este ano... *percebia-se primeiro bem o problema ...*
E.— *E depois?*
B.— *Depois é que se passava à fórmula .*
E.— *Então, e no ano passado?*
B.— Não era assim (e ri francamente!). **(E1)**

Comparando o método do ano precedente ("método tradicional") com o método actual (experimental), o aluno tem consciência da diferença principal entre ambos, favorecendo ela o segundo: pensar primeiro na situação e só depois passar à fórmula, desse modo se contrariando a obsessão habitual e monopolizante por essa mesma fórmula. Não temos dúvida em

afirmá-lo, nessa sensibilização dos alunos para o papel decisivo da compreensão qualitativa e da representação inicial do problema (Chi, Feltovitch e Glaser, 1981; E. Gagné, 1985; Hayes, 1987; Heller e Reif, 1984) residirá um dos aspectos em que esta experiência maior sucesso terá conseguido.

Por outro lado, os alunos facilmente se aperceberam que até em quantidade e não só em estatuto as fórmulas, com o método proposto, perdem terreno relativamente ao que é comum acontecer:

E.— *Pensas que em física é fundamental perceber, talvez mais do que em outras disciplinas?*
G.— Perceber e compreender.
E.— *Será mais importante que decorar?*
G.— Sim.
U.— Concordo, mas eu, por exemplo, compreendi e decorei as fórmulas.
E.— *Mas eram assim tantas fórmulas* ?
U.— Não, comparado com o ano passado !...
E.— *E é preciso estudar muito, para aprender física?*
G.— Não.
U.— Para mim não foi, pelo menos este ano.
G.— Eu também acho que este ano não precisei de estudar muito.
E.— *Porque achas que não precisaste?*
U.— *Eu estudava muito mais e tirava piores notas no ano passado.* **(E1)**

Os alunos eram, enfim, sensíveis a uma metodologia que, ao contrário da do ano precedente, lhes solicitava uma intervenção mais activa no processo de resolução, implicando isso a necessidade de serem eles próprios a tomar decisões que, no caso oposto, surgem já por eles tomadas. Valorizavam, assim, o facto de o problema "ser dado de maneira diferente", com "coisas do dia-a-dia", maneira essa que os levava a "tirar o verdadeiro problema", a "retirar os dados", "a ver quais as expressões mais importantes" e, frisamos, "só depois" a "calcular o problema":

E.— *E em termos do método, vocês gostaram do método que seguimos para aprender a resolver problemas?*

L.— Foi bom.

V.— Para as bases que eu tinha de física, *até gostei imenso do método.*

E.— *Importas-te de explicar um pouquinho mais?*

V.— O problema em si era dado de maneira diferente .

L.— E também porque com as palavras que nos eram fornecidas *nós é que tínhamos de tirar o verdadeiro problema.*

V.— E também porque *o problema era-nos dado com coisas do dia-a-dia,* com coisas que nós já tínhamos visto...

L.— E também porque *tínhamos que ser nós a retirar os dados, a ver quais as expressões mais importantes e só depois disso a calcular o problema.*

E.— *E os dados que apareciam a mais dificultavam ou facilitavam o.. ?*

V.— Não, facilitavam. Até porque era mais aquela "palha" que não nos dizia nada, mas dizia-nos muito, porque a gente visualizava o... o problema em si, víamos a...

L.— Sim, esses dados interessavam para a gente se situar...para gente imaginar. (**E1**)

Um facto que comprova as reais potencialidades do método de ensino e aprendizagem da resolução de problemas ensaiado é a circunstância de um número significativo de alunos do grupo de controlo ter também manifestado opiniões favoráveis ao mesmo:

E.— *Nos problemas que saíram num dos testes, eu não pedia que resolvessem logo o problema quantitativamente, logo a seguir ao enunciado. Havia uma série de tarefas prévias. Tu preferias que te pedisse para resolveres logo o problema, uma vez lido o enunciado ?*

F.— Não, acho que não.

E.— *Porquê? Achas que essas questões prévias ajudavam?*

F.— Sim.

E.— *Em que sentido?*

F.— Ajudavam a chegar a uma solução ou a uma conclusão melhor e mais rápido.

E.— *E porquê ?*

F.— *Porque pensávamos no dia-a-dia e depois íamos então à física.* (**C**)

Esse facto é tanto mais relevante quanto é certo ter sido reduzido, por razões já enunciadas, o contacto efectivo dos alunos do grupo de controlo com esse método. E o que por eles era mais relevado eram precisamente os problemas que lhe davam suporte, isto é, os problemas de enunciados extensos.

Problemas de enunciados extensos. Esses enunciados saem inequivocamente vencedores no confronto com os enunciados tradicionais, isto é, com os dos livros adoptados:

E.— *E como caracterizas os problemas que lá encontraste no livro* ?
S.— São horríveis! (Rindo francamente)
E.— *Em que é que distingues os problemas que utilizámos desses do livro?*
S.— Sei lá... *Acho os nossos mais fáceis de perceber e mais concretos.*
E.— *Mas um enunciado tão grande não tinha o perigo de te confundir* ?
S.— Se a gente ler com atenção é fácil. Fácil, ..., isto é, é mais fácil.
E.— *Que vício os problemas do livro podem desenvolver nos alunos* ?
S.— *A dificuldade deles é só aquilo, e aquilo e aquilo, enquanto os nossos dão mais para a gente ver* ... mais abertamente o tipo de problema. *É mais lógico, dá mais para pensar. Os outros é decorar a fórmula e aplicar.* (**E1**)

O excerto anterior é só por si ilustrativo. Em poucas palavras, o aluno quase que condensa as mais importantes virtualidades deste tipo de enunciados. Apesar dos ténues laços dos problemas académicos utilizados com a vida quotidiana, o simples facto de os enunciados serem mais descritivos, descreverem mais ricamente as situações, levou os alunos a relacionarem-nos com a vida real e, desse modo, a por eles mais se interessarem. É inegável que a adesão dos alunos dos grupos experimentais a estes enunciados é uma das conclusões que neste estudo não podem deixar de ser relevadas.

Materiais de apoio.

> Nós gostávamos de analisar a fotocópia... ela estava tão... tão simples que era fácil... bastava a gente olhar para ali e...lembro-me de algumas que eram assim a brincar... A brincar a gente aprende melhor a matéria e esquece-se menos. **(E1)**

No caso dos grupos experimentais, a apreciação que os alunos faziam dos diversos materiais é no geral e consensualmente bastante positiva; como bem o atesta, aliás, a passagem em epígrafe. Nela, o aluno parece ter sido sensível ao que, curiosamente, foi uma das nossas grandes preocupações: tirar partido, tanto quanto possível, da dimensão lúdica da relação pedagógico-didáctica, a fim de que a física que ensinávamos não fosse apenas — e utilizando as próprias palavras de um dos alunos — "física e física", isto é, fosse "mais aberta", "mais simples do que aquela *física pesada* [!]".

É evidente que a não habituação dos alunos a este tipo de abordagem e à natureza dos auxiliares didácticos utilizados terá no princípio implicado algumas dificuldades de acomodação:

> R.— Eu acho que *a matéria de física este ano foi bem apoiada pelas fotocópias.*
> E.— *E ajudavam-te?*
> R.— Sim! Ao princípio... *a primeira parte foi mais difícil* porque... estávamos habituados a estudar muito pelo nosso caderno. Mas depois já era fácil a gente chegar ali ... percebia aquilo... estava com atenção nas aulas e depois, em casa, *era como se fossemos nós que as tivéssemos feito* [!].
> E.— *Preferem estudar por fotocópias ou estudar por um livro?*
> N.— Ah! Por fotocópias! ... Eu por o livro...
> E.— *Vocês estudaram pelo livro?*
> R.— *Pelo livro, não.*
> N.— *Pelo livro, não.* Eu nem o abri!. (e ri com franqueza) **(E2)**

Apesar da dificuldade que toda a mudança implica, os alunos aparentam ter acabado por se sentir perfeitamente à vontade com os materiais que

lhes foram proporcionados. E essa identificação os terá levado a ter em reduzida conta o manual que havia sido inicialmente adoptado na escola. Estamos convictos de que esse fraco apelo exercido sobre eles pelo livro (fonte de consulta complementar) foi uma constante ("foi uma coisa geral") em ambos os grupos experimentais:

E.— Preferias ter estudado só pelo livro?
S.— Não...
E.— Chegaste a estudar realmente por ele?
S.— Sim, mas não ... *não gostei* !
E.— E porque é que não gostaste?
S.— A *matéria não estava tão bem organizada* [!]. E depois *metia muitas fórmulas* [!]. **(E2)**

Nesta última transcrição, o aluno critica através do livro dois aspectos das didácticas habituais com os quais quisemos deliberadamente entrar em ruptura: referimo-nos à compartimentação e fragmentação do conhecimento escolar (neste caso da mecânica) e à proliferação de fórmulas isoladas.

O facto de outros alunos terem igualmente destacado como aspecto saliente e positivo dos materiais de suporte que utilizámos a sua organização, leva-nos a pensar que, a esse respeito, alguma parte da nossa mensagem terá passado; isto é, que o apoio substantivo em esquemas de incentivo à organização do conhecimento terá surtido os efeitos positivos desejados (Almeida, 1988; Chi, Feltovitch e Glaser, 1981; Dufresne, 1989; Resnick, 1983; H. Simon, 1980; West e Pines, 1985). Os alunos que intervieram na entrevista a que se refere o excerto que se segue, relevam igualmente esse aspecto e, mais concretamente, o mapa de conceitos organizativo dos conteúdos fundamentais abordados (a "aranha"!) :

E.— *Passando agora às fichas de trabalho e outros materiais que utilizaram. Há algum aspecto nesses materiais em que se visse essa interligação [a qual haviam numa fase anterior da entrevista atribuído à física]?*

N.— Ah, a aranha! [Refere-se ao mapa de conceitos geral da unidade]

E.— *Sim, a "aranha". E acham que essa "aranha" ajuda?*

R.— Acho que sim!

N.— *Está tudo ligadinho* ! **(E2)**

Impacte Quantificado da Abordagem Experimental: Sucessos, Insucessos e Algumas Questões em Aberto

• *A abordagem experimental parece ter contribuído para esbater os habituais constrangimentos afectivos sentidos pelos alunos em física e na resolução de problemas de física*

Começamos por recordar sucintamente as mudanças relativas verificadas nas duas variáveis quantitativas que configuram o campo afectivo do estudo:

Quadro 51

Mudanças Relativas: Síntese do Campo Afectivo

VARIÁVEL	*E1 ∝ C*	*E2 ∝ C*
SATFQ	E1>C	E2>C
ATRPF	E1>C	E2>C

Constata-se terem as mudanças relativas evidenciadas pelos grupos experimentais sido significativamente mais favoráveis do que as manifestadas pelo grupo de controlo. Há que lembrar, no entanto, que essa diferenciação relativa não se deve tanto a um entusiasmo acrescido dos grupos experimentais pelas CFQ ou pela resolução de problemas de física, relativamente ao que haviam manifestado no início, mas mais a uma descida relativamente pronunciada do grupo de controlo. Essa descida é significativa em ambas as variáveis, sendo mesmo muito significativa no caso de SATFQ — confirmando-se, aparentemente, as previsões quanto ao reduzido apelo que as abordagens tradicionais de física exercem nos alunos.

Quer dizer: parece inquestionável a influência negativa da abordagem tradicional, tendo, pelo contrário, a abordagem experimental se não instilado nos alunos o interesse pela física (e pela resolução de problemas de física), pelo menos evitado que ele decrescesse. É evidente que o que se está a medir não é propriamente uma mudança de atitude no âmbito restrito da física, mas uma mudança entre química e física. Acresce ainda o facto de os grupos E1 e C terem entretanto mudado de professor. Pode então estar em causa o efeito conjugado da área científica e do professor. Mas o facto de este ser o mesmo em ambos os grupos E1 e C dá algumas garantias de ser sobretudo a abordagem que está a ser comparada em termos afectivos. Aliás, o comportamento do Grupo E2 (cujos elementos não mudaram de professor) parece dar suporte acrescido a essa conclusão.

Encontrámos, por outro lado, evidência complementar que pode reforçar a convicção de que, ao contrário do que muitas vezes sucede, sobretudo em turmas pouco vocacionadas para o efeito, a abordagem experimental conseguiu conter alguns dos habituais "fantasmas" que povoam, em geral,

as mentes dos alunos em física. Acontece, por exemplo, que, questionados nas entrevistas quanto à sua simpatia preferencial por física ou química, os alunos experimentais tendiam a favorecer claramente a física, tendo os de controlo distribuído as suas simpatias pela física e pela química.

E sendo assim, isto é, admitindo essa vantagem da abordagem experimental na dimensão afectiva, talvez possamos ver aqui sinais inequívocos a favor dos argumento de ser a dimensão afectiva tão ou mais importante que a cognitiva na aprendizagem e, obviamente, na resolução de problemas (Claxton, 1985; Head, 1989; Hodson e Reid, 1988; R. Miller, 1980; Resnick, 1989). É que, como dizia Claxton, "a cognição de pouco importa quando se está assustado, deprimido ou aborrecido" (p. 155)!

- ***A abordagem experimental parece ter favorecido o desenvolvimento de experiências metacognitivas potenciadoras de estados de resolução mais competentes***

Na verdade, a nível global, o Grupo E1, que no início não se distinguia estatisticamente de C neste campo, muda significativamente face ao de controlo. Sobe com regularidade em relação a si próprio em todos os indicadores, ao passo que o de controlo sobe nuns indicadores e desce noutros, sendo, nalguns deles, a descida bastante significativa. Isso traduz-se em mudanças relativas significativas em mais de 50% dos indicadores escolhidos, conforme o ilustra o quadro-síntese em baixo inserido:

Quadro 52
Mudanças Relativas: Síntese do Campo da Experiência Metacognitiva

VARIÁVEL	*E1 ∝ C*
COMPa	E1=C
COMPd	**E1>C**
FACa	**E1>C**
FACd	**E1>C**
CONFa	E1=C
CONFd	**E1>C**
SEG	**E1>C**
ATEN	E1=C
REV	E1=C
EMP	E1=C
AVAL	**E1>C**

É de destacar, em especial, o que parece ter ocorrido com os indicadores FACILIDADE. Em ambos, o Grupo E1 evidencia subidas significativas, ao passo que com o grupo de controlo é o contrário que acontece. Tudo se passa como se, ao enfrentar o problema quantitativo proposto, E1 o tenha feito com maior à vontade e maior segurança — essa maior segurança parece, inclusivamente, ser confirmada pelos dados referentes ao indicador correlativo (SEG).

Esta conclusão parece-nos fidedigna tanto mais que ela é, de certo modo, consonante com a diferenciação entre os dois grupos observada nas entrevistas, a propósito do indicador "FACILIDADE DECLARADA" — "sentimentos que uma primeira leitura do enunciado do problema desencadeava nos alunos, sobretudo os relacionados com a percepção do grau de dificuldade da tarefa proposta".

- ***A abordagem experimental parece ter contribuído para o reforço da competência cognitiva dos alunos na resolução de problemas de física, sobretudo nos de natureza quantitativa***

No que toca à competência cognitiva dos alunos na resolução de problemas de física, verificava-se inicialmente que o Grupo E1 era dos três o que parecia globalmente menos bem preparado. Tendo em conta informação presente no Quadro 53, concluímos ser este, ao invés, o grupo que mais parece ter beneficiado com a experiência. Passa a superar claramente o grupo de controlo, acontecendo isso em ambas as variáveis aqui em consideração, com especial incidência no caso de TRPQT.

Quadro 53
Mudanças Relativas: Síntese da Competência Quantitativa e Qualitativa

VARIÁVEL	*E1 ∝ C*	*E2 ∝ C*
TRPQT	E1>C	E2>C
TRPQL	E1>C	E1=C

Em sintonia com os estados afectivos e metacognitivos mais favoráveis por ele evidenciados, a propósito da resolução de problemas quantitativos de física, o Grupo E1 apresenta nessa componente um progresso significativo considerável (passa, em média, de 38,2 para 76,8 enquanto C desce de 46,5 para 32,0). Esse será, inclusivamente, o aspecto em que a experiência terá conseguido resultados mais visíveis. Na verdade, também o Grupo E2 aí obtém o seu melhor resultado relativo; as suas prestações são, no entanto, diversas (46,8 para 74,0 no TRPQT).

Poder-se-á pensar que a vantagem dos grupos experimentais nos problemas quantitativos terá ficado confinada aos problemas mais utilizados:

problemas de enunciados extensos em vez dos tradicionais enunciados curtos. Talvez tivesse valido a pena ter verificado se os ganhos tinham reflexos no que diz respeito a este outro tipo de enunciados. E, sendo assim, aí poderá localizar-se uma das falhas deste estudo.

As limitações de tempo levaram-nos, porém, a ter que tomar opções. E essas dirigiram-se declaradamente para a ênfase em problemas de enunciados extensos, aqueles que nos pareciam mais em sintonia com os nossos propósitos. Achamos, porém, que os resultados do *Teste de Compreensão e Aplicação de Conhecimentos de Mecânica do 10.º Ano,* mais de tipo convencional, poderão dar algumas pistas sobre essa possibilidade . Na verdade, também nele o Grupo E1 supera claramente o grupo de controlo (média de 63,8 para E1 e de 51,8 para C). Todavia, dado que se trata de um teste mais de compreensão do que de aplicação (resolução de problemas quantitativos típicos) essa afirmação não a podemos reivindicar com segurança. Fica pois uma questão em aberto.

No que tem a ver com os problemas qualitativos, a experiência continua a fazer subir os grupos E1 e E2. A subida de E1 é, contudo, bastante mais pronunciada e significativa; E2 apenas sobe "quase significativamente"; em termos de comparação relativa, obtém ganhos estatisticamente idênticos aos do grupo de controlo. Este aparente menor sucesso do Grupo E2, já identificado no campo precedente, servirá para fundamentar importantes implicações que, noutro contexto, mais à frente serão explicitadas.

Do que não parece restarem dúvidas, em suma, é que, conjugando as duas vertentes, a competência cognitiva dos alunos dos grupos experimentais na resolução de problemas terá seguramente saído reforçada. Esta evidência é congruente com os resultados obtidos por esses alunos nas variá-

veis de tipo afectivo e metacognitivo. Isso pode ser um ponto a favor da tese de Garrett (1989), segundo a qual as crenças e atitudes dos alunos face a uma dada disciplina, constituem um dos factores mais influentes no seu sucesso na resolução de problemas no contexto dessa disciplina.

- ***Aparentemente, foi menos acentuado o sucesso relativo da abordagem experimental na promoção do desenvolvimento de estratégias e procedimentos metacognitivos de resolução de problemas***

No início, e tal como antes acontecia, o Grupo E1 era declaradamente o mais desfavorecido no que tem a ver com a sua prestação no tipo de estratégias metacognitivas que considerámos, verificando-se o contrário com E2 (Fig. 12).

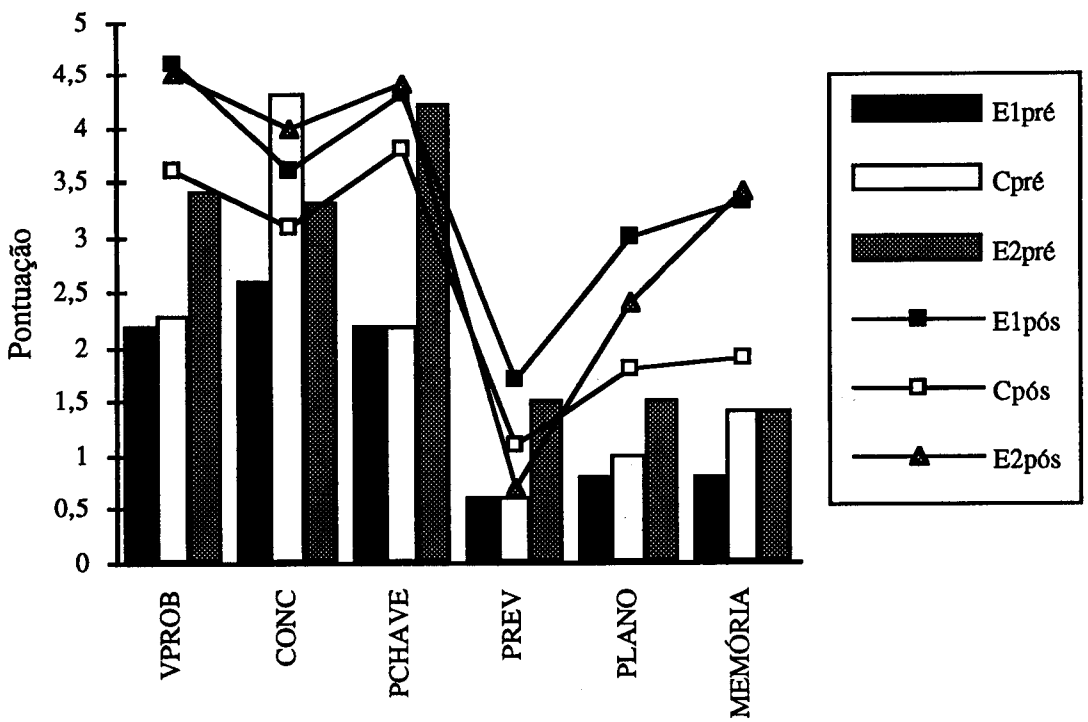


Fig. 12 — *Estratégias Metacognitivas: Mudanças Verificadas*

Pensando agora em mudanças, os resultados apontam, desta vez, para uma subida significativa de E1 e uma subida pouco significativa de E2. Os progressos evidenciados são, contudo, diferenciados, tendo em conta o conjunto dos indicadores em questão.

Com efeito, emergem nitidamente do gráfico dois sub-conjuntos de indicadores (os três primeiros e os três últimos), sendo isso aplicável a E1, mas também aos dois outros grupos. No primeiro subconjunto, os alunos obtêm (tanto à partida como à chegada) resultados visivelmente mais elevados relativamente aos obtidos no segundo. A eles deverão corresponder processos metacognitivos respectivamente diversos: mais simples e menos abrangentes no primeiro caso; mais complexos e mais abrangentes no segundo. Destes, destacam-se os indicadores PREVISÃO e PLANO que, como sabemos, constituem duas macro-estratégias fundamentais no modelo de A. Brown (1975, 1978) e duas importantes metacomponentes no modelo de Sternberg (1986). Correspondem-lhes, desse modo, estratégias metacognitivas (processos executivos de decisão) de nível hierarquicamente elevado e de âmbito geral, as quais exigem a mobilização de todo um leque de processos de pensamento de nível inferior (componentes) e que, por isso, exigem maior grau de explicitação e um correlativo maior tempo de intervenção para que progressos possam resultar visíveis.

Existem contudo alguns indícios de que o Grupo E1 possa, apesar de tudo, ter conseguido maior êxito relativo no desenvolvimento desse tipo de estratégias. Basta lembrar a melhor prestação dos seus representantes na resolução oralmente verbalizada do problema proposto nas entrevistas, bem como uma aparente maior consciencialização dos passos de resolução de problemas e das dificuldades a eles inerentes, detectada também nas entrevistas.

Podendo isso ser verdade, os valores absolutos extremamente baixos obtidos nessas metacomponentes da inteligência, e as reais dificuldades de realização das mesmas reportadas por esse alunos, parecem levar-nos a pensar que também com eles o sucesso da intervenção foi relativamente reduzido. Ora tais componentes configuram o pensamento de nível mais elevado: são para Brown e Sternberg o cerne ou a essência da inteligência. Quer isso dizer que a experiência não conseguiu desenvolver nos alunos competências de pensamento efectivas? Não o queremos afirmar, até porque:

- criou cenários afectivos e também metacognitivos mais favoráveis (ou menos desfavoráveis) para que essas competências pudessem germinar (facilidade, segurança, compreensão);

- potenciou competências na resolução de problemas quantitativos que, queremos crer, não ficaram de modo nenhum confinadas ao operatório e mecânico;

- terá, apesar das dificuldades enunciadas, evidenciado ligeira vantagem na consciencialização do conhecimento científico, na reestruturação dos sistemas de construtos dos alunos, rumo a configurações mais científicas.

Isso não implica podermos afirmar de forma definitiva que a experiência tenha conseguido desenvolver significativamente competências de pensamento, nomeadamente metacognitivas — o que não será o mesmo para a criação de estados mentais potencialmente favoráveis a esse desenvolvimento. Não averiguámos, nomeadamente, até que ponto os possíveis ganhos (eventualmente mais visíveis no Grupo E1) eram ou não transferidos para outros contextos disciplinares e outras áreas da física; e até que

ponto perduravam no futuro, isto é, mudavam efectivamente os alunos que os experienciavam.

Por outro lado, sérios *constrangimentos* se interpuseram — como sempre se interpõem (Nickerson, Perkins e Smith, 1985) —, ao desenvolvimento efectivo e duradouro desse tipo de competências intelectuais. Significa isso que caímos no logro de substituir uma utopia (a do modelo da mudança conceptual) por outra (a do ensinar/aprender a pensar)? Talvez que isso seja um facto. Achamos, contudo, ser esta uma utopia mais salutar, porque mais sincrética e mais eclética. E também porque admitimos que, vencidos alguns desses constrangimentos, ensinar/aprender a pensar possa ser uma realidade na realidade da sala de aula, o que equivale a admitir ser a mudança cognitiva e metacognitiva mais viável em condições ideais do que a mudança estritamente conceptual. De qualquer modo, e fazendo uso de algum pragmatismo sempre necessário, concedemos que ensinar/aprender a pensar acabe por ser uma idealidade pedagógica na escola que temos.

- ***Uma questão em aberto: terá a abordagem experimental favorecido realmente o reforço da capacidade de pensar?***

De acordo com Vygotsky (1978; 1979), o desenvolvimento da capacidade de pensar é, em larga medida, um desenvolvimento de "fora para dentro": todas as funções cognitivas começam por ter uma fase social (interpessoal) para passarem depois a uma fase individual (intrapessoal). E isso tanto acontece com as funções psicológicas básicas como com as funções superiores.

É pela interiorização progressiva das ferramentas (linguísticas e conceptuais, por exemplo) proporcionadas pela sociedade, que se constrói o pensamento consciente, que activa e "regula" as outras funções psicológicas e que permite à criança acesso a formas mais elevadas de pensamento: metapensamento ou metacognição.

Aceitando essa premissa de que o desenvolvimento do controlo cognitivo é em muito um processo social — e foi, nesse sentido, que antes nos referimos às bases sociais da metacognição —, legítimo é concluir que cabe aos pais, aos professores e a outros sujeitos mais competentes a missão de proporcionarem ao aluno as estratégias que lhe possibilitarão no futuro realizar aprendizagem e resolver problemas autonomamente. Em sintonia com tal premissa, A. Brown (1987) faz notar que são particularmente favoráveis à aprendizagem ambientes sociais (escola incluída) em que os indivíduos interactuam com outros mais competentes em actividades de resolução de problemas.

Em qualquer tentativa de desenvolver as capacidades cognitivas da criança, a interacção linguística, o diálogo com outros mais competentes (em particular, com o professor) desempenham, pois, um papel insubstituível e incontornável. Sem esse diálogo exterior (para depois se internalizar), dificilmente esse desenvolvimento acontecerá em plenitude —quer dizer, na sua máxima expressão e plasticidade, consubstanciando o pensamento de tipo metacognitivo.

E foi aí que residiu — e residirá, enquanto as estruturas não se alterarem significativamente — um dos principais pontos fracos do nosso estudo. A interacção proporcionada não foi tão intensa e diversificada quanto as necessidades o reclamariam. Por tal motivo, uma das hipóteses que admiti-

mos inicialmente não terá, seguramente, tido a validação que esperaríamos. É claro que talvez também a esperássemos imbuídos de alguma idealidade: a idealidade que norteia a acção de alguém (o investigador) que se apoia em modelos necessariamente ideais.

Da Idealidade à Realidade — ou a Dificuldade de Ensinar a Pensar na Escola que Temos

Um dos problemas que mais atormentaram o investigador no início da intervenção foi, com efeito, o fosso que separa a idealidade dos modelos propostos na literatura — muitos deles criados em situações pensadas ou de laboratório — da realidade da sala de aula, com todas as suas condicionantes humanas mas também materiais, funcionais e estruturais, cognitivas mas também afectivas e motivacionais.

Esse confronto — penoso no início — implicou a necessidade de se tomar decisões quanto à melhor forma metodológica (e pedagógica) de actuar atempada e oportunamente. É nesse sentido que antes afirmávamos assumir a nossa pesquisa cambiantes de uma metodologia de investigação-acção. Muitas das decisões e propostas surgiam na sequência das reacções actuais dos alunos e de avaliações constantes por nós realizadas.

Reajustamentos na planificação inicial, nas estratégias seguidas, nos materiais de suporte utilizados, foram, pois, sendo introduzidos, à medida que a experiência se concretizava. Pareceu-nos, com isso, garantir uma intervenção mais adaptada à realidade, embora sem perder de vista alguma idealidade que serviria de motor. Isto é um aspecto que o investigador melhor do que ninguém está em condições de realizar, dada a sua prepa-

ração e sensibilização específicas e focalizadas. Tentou-se transpor para a esfera de acção das outras professoras essa preocupação. Nunca, porém, aí se logrou atingir a profundidade, a extensão e a oportunidade que puderam caracterizar a acção do investigador nas turmas a seu cargo. Esta faculdade de actuação atempada e oportuna constitui um ponto a favor do que mais à frente defenderemos: a conveniência de as intervenções ao nível da sala de aula serem, sempre que possível, conduzidas pelo próprio investigador — que pode, obviamente ser o professor regular.

Nessas circunstâncias, havíamos previamente concebido uma série de materiais inspirados na literatura e, como é óbvio, desenhados em função de modelos ideais — textos de sensibilização para a resolução de problemas e seus obstáculos e para a necessidade de pensar (ver Anexo 1). Rapidamente fomos confrontados com a inaplicabilidade de alguns desses materiais (e desses modelos) àqueles contextos. Rapidamente verificaríamos que as reais motivações e, sobretudo, as reais necessidades dos alunos aconteciam a um nível muito mais prosaico:

- Aprender a linguagem (gráfica, vectorial e analítica) e as ferramentas conceptuais básicas que os anos precedentes, ao contrário do que seria suposto e desejável, não conseguiram efectivamente desenvolver — relembram-se, a propósito, os baixos resultados obtidos pelos alunos no teste de física do 9.º ano.

- Compensar lacunas de ordem matemática insuspeitadas. Por exemplo: os alunos aprendem as propriedades das equações, mas depois limitam-se a aplicar cegamente a técnica algoritmizada que só prevê esquemas em que a incógnita figura no primeiro mem-

bro; a situação que reproduzimos, extraída do nosso *caderno diário de anotações,* serve bem para o ilustrar:

> Ao explicar um processamento matemático, escrevi no quadro a equação 10 = 2 + 5 a ; rapidamente, por *aplicação da propriedade reflexiva,* a transformei, sem disso chamar a atenção expressa dos alunos, na equação 2 + 5 a = 10; de imediato se levanta um impressionante coro de protestos, alegando os alunos não ser legítima essa transformação, uma vez que não havia trocado os sinais ao mudar de membro.
> Quer dizer: a viciação em regras operatórias sobrepõe-se totalmente às propriedades estruturantes; o complicado, sobrepõe-se, neste caso, ao mais simples, isto é, à aplicação da simples propriedade reflexiva das equações matemáticas.

- Ensinar estratégias, algoritmos e procedimentos básicos de resolução de problemas. Tudo, a esse respeito, parecia, aliás, ter que ser ensinado. Isso o pretendemos exemplificar com base no relato de um incidente registado também no nosso caderno de anotações:

> Na aula de ontem, os alunos foram treinados na resolução de problemas de cinemática com uma incógnita apenas; pareceram não experimentar grandes dificuldades. Ainda nessa aula, levaram para casa um problema para resolver. A estrutura do problema era em tudo similar, excepto no facto de, para determinarem a incógnita principal, terem antes de determinar o valor da variável tempo. Essa determinação podê-la-iam conseguir por simples cálculo mental. Na aula de hoje, vieram todos muito aflitos (?!...), afirmando não terem podido resolver o problema por não lhes ter sido fornecido o valor do tempo.

Esta situação parece indiciar que o vulgar dos alunos não aprende, de facto, a resolver problemas só por si. Têm de ser explicitamente ensinados, às vezes em aspectos, tópicos e processos os mais imprevisíveis. Essa incapacidade até para o cálculo mental é recorrente, como mais uma vez o ilustramos através de um dos registos de incidentes que anotámos:

> Ao planificar em casa a aula de hoje, tinha decidido incluir uma actividade em que, com base numa tabela, os alunos apenas teriam de identificar regularidades, associadas à relação entre a velocidade e o tempo no movimento uniformemente acelerado, implicando isso mecanismos de cálculo mental simples. Ciente das dificuldades dos alunos nessa operação cognitiva, lembrei-me de pedir a um dos meus filhos (aluno do 3.º ano de escolaridade) que tentasse resolver a tarefa, explicando-lhe obviamente em que consistia. Ele conseguiu-o sem grandes dificuldades. Hoje, na aula, e consoante o havíamos previsto, nenhum dos alunos o conseguiu. Não será que Holt tem razão quando admite que a escolarização funciona, muitas vezes, como agente bloqueador da criatividade e da plasticidade de pensamento da criança? (*in* Caderno de Anotações)

- Incentivar esquemas de trabalho, discussão, leitura e descodificação de textos, actividades em que os alunos revelavam enormes carências e a que estão pouco habituados. Era gritante a sua renitência e o seu pouco entusiasmo por tarefas que os obrigassem a um grande esforço de concentração e pensamento — eram, aliás, os próprios a, sob diversas formas e alegando múltiplos motivos, reconhecerem uma certa "preguiça mental". Como referem Cusak et al. (1986), os alunos preferem, com efeito, tarefas que lhes proporcionem respostas rápidas e automáticas, em vez de situações que impliquem inovação e conflito conceptual, em suma, esforço mental elevado. Eram, por outro lado, enormes as suas insuficiências linguísticas, tanto no plano da compreensão oral como escrita.

Além disso, difícil será promover mudanças cognitivas e metacognitivas, as quais pressupõem a mobilização dos mecanismos da motivação intrínseca, quando o *que mobiliza os alunos é sobretudo a motivação extrínseca* de passar o ano e ter boas notas. O que prevalece é, com efeito, a nota —

Oh professor, isto também é para nota? — e não uma real motivação intrínseca para aprender (Brophy, 1987).

Nessas condições, os alunos entram para os testes com a verdadeira obsessão de por quem e como copiar. Chegam a copiar os próprios *Trabalhos para Casa* (TPC) e, às vezes, mal copiados. Com os TPC passou-se, aliás, um caso curioso, o qual evidencia bem até que ponto são perversos os incentivos que mobilizam a motivação dos alunos para as actividades escolares.

Haviamo-los informado no início da intervenção de que os TPC (Anexo 3) contariam para avaliação. Apesar disso, na primeira parte da experiência (2.° Período Lectivo), raros foram aqueles que os entregavam com regularidade e que os realizavam com competência e sentido de responsabilidade. Faziam-no só pelo facto de pensarem que, mesmo assim, sairiam beneficiados na classificação final, relativamente àqueles que nem sequer os entregavam. Eram realizados sem grande convicção e empenhamento. Os erros cometidos eram demasiado primários para que essa falta de empenhamento não viesse de imediato ao de cima.

No final do período, tiveram ocasião de verificar que aqueles (cerca de um terço) que os haviam feito com regularidade recolheram daí benefícios na classificação final do período. No período seguinte, cresce significativamente o número dos que os entregam e cresce também a competência e o cuidado com que são realizados. Mas o que estava sempre em jogo não era tanto a oportunidade de treinar a resolução de problemas, mas a mira de que, desse modo, a nota saísse beneficiada.

Uma outra condicionante a ter em conta diz respeito à concentração e atenção dos alunos nas actividades propostas. Não há aprendizagem que

possa ser bem sucedida sem esses requisitos. As primeiras filtrações e distorções interpostas entre o fluxo informativo canalizado pelo emissor e o fluxo informativo realmente aprendido relacionam-se precisamente com o fenómeno da *atenção.*

Ora acontece que, na escola actual, os alunos raramente se encontram em *estado de concentração* potenciador de uma boa aprendizagem. Ele seria crucial, nomeadamente para os alunos poderem assimilar aspectos das matérias caracterizados pela sua delicadeza, alguns deles fortemente contraditados pela experiência comum e, também, para poderem aprender processos de pensamento que o professor já de si tem dificuldade em explicitar por, em geral, os desenvolver de forma tácita.

Não obstante o seu carácter automático, e a sua consequente dificuldade de explicitação, esse conhecimento processual tácito do professor é absolutamente essencial para o aluno (J. Anderson, 1981; Jung, 1985; Kramers-Pals et al., 1982; Reif 1983a, 1983b; Toulmin, 1953).

Existia assim *grande variabilidade temporal na concentração e adesão dos alunos à mensagem do professor.* Os fins de bloco (manhã/tarde) e as aulas de duas horas eram a esse respeito particularmente gravosos. Se calhava, então, a segunda hora ocorrer num final de tarde, depois de uma carga razoável de aulas de outras disciplinas, os alunos quase suplicavam que os deixássemos em paz; sentiam-se (e com alguma razão) terrivelmente saturados e cansados. Alguns deles havia que se viam forçados a levantar às 6 horas da manhã, apanhar o autocarro às 6 h 30 min, para iniciar as aulas às 8 h 30 min, regressar no autocarro das 18 h e chegar a casa às 19 h 30 min. A contiguidade ou proximidade de testes e outras provas de avaliação eram igualmente momentos pouco propícios à criação

de um clima favorável a pensar. Se acontecia os alunos terem um teste de uma dada disciplina no tempo seguinte a uma aula de física, certo era estarem desconcentrados na aula em causa, com constantes escapadelas para darem a última (única?) passagem pela matéria respectiva.

Quadro 54

Cronograma de Actividades — Grupo E1

DIA	JANEIRO	FEVER.	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO
2ª	Q			PÁSCOA		
2ª	Q			PÁSCOA		
4ª	Q			PÁSCOA	FERIADO	
5ª	Q			PÁSCOA		Pós-TESTES
2ª	Q	CARNAVAL		GREVE		FERIADO
2ª	Pré-TESTES	CARNAVAL		R.G.P.		FERIADO
4ª	Pré-TESTES	CARNAVAL		GREVE		Pós-TESTES
5ª		CARNAVAL		GREVE	EXPOSIÇÃO	
2ª		P.G.A.	TESTE		V. P.	
2ª		P.G.A.	TESTE		V. P.	FIM
4ª		TESTE				
5ª						
2ª			PÁSCOA			
2ª			PÁSCOA			
4ª			PÁSCOA			
5ª			PÁSCOA	FERIADO	TESTE	
2ª						
2ª						
4ª						
5ª					FERIADO	

Trabalho de Campo Interrupção Prevista Interrupção Imprevista

• **Q**: aulas de Química; **P.G.A.**: realização na escola da Prova Geral de Acesso; **R.G.P.**: Reunião Geral de Professores; **V.P.**: tolerância de ponto por motivo de Visita Papal.

Por outro lado, as frequentes interrupções (ver Quadro 54) no desenrolar da experiência motivadas por factores como reuniões intercalares, dias de greve de professores e/ou funcionários, dias de escola, exposições em salas de aula, conferências na escola ou faltas dos alunos, invalidam só por si qualquer tentativa de levar os alunos a criarem e consolidarem hábitos favoráveis ao desenvolvimento dos processos cognitivos superiores.

São factos como estes que fazem levantar algumas nuvens no que diz respeito à consecução do objectivo de ensinar/aprender a pensar, através dum estudo como o que realizámos, em que estava em jogo uma nova proposta para o ensino da física e da resolução de problemas de física. Mas outras nuvens se interpuseram entre esse objectivo e a sua consecução no campo. E essas têm a ver, desta vez, com as próprias formas de avaliar progressos nesse domínio, e mais especificamente no âmbito das mudanças metacognitivas.

Impedimentos instrumentais. Uma das principais críticas que o nosso trabalho nos merece, sobretudo na dimensão metacognitiva do pensar, diz, com efeito, respeito aos instrumentos utilizados. Isso o clarificamos a seguir, fazendo nossas as reservas de Bateson (1986, pp. 41-42) a esse tipo de instrumento na medição de competências de pensamento, particularmente de competências de natureza metacognitiva:

> Filha: Pai, já alguém mediu alguma vez quanto é que qualquer outra pessoa sabia?
> Pai: Oh, sim. Muitas vezes. Mas não sei exactamente o que é que esses resultados querem dizer. Eles fazem isso com exames e testes e questionários, mas é como tentar saber o tamanho duma folha de papel atirando-lhe pedras.
> Filha: O que é que queres dizer?
> Pai: Quero dizer que, se atirares pedras a duas folhas de papel à mesma distância e acertares mais vezes numa que noutra provavelmente aquela em que acertaste mais

vezes é maior que a outra. da mesma maneira, num exame atiras uma série de perguntas aos alunos e, se acertares em mais pedaços de conhecimento num aluno do que nos outros, então pensas que esse aluno deve saber mais. É essa a ideia.
Filha: Mas podia medir-se uma folha de papel dessa maneira?
Pai: Claro que se podia. Até seria uma boa maneira. Medimos uma série de coisas desse modo. Por exemplo, achamos quão forte é uma chávena de café vendo quão preta ela está — isto é, olhamos para ver qual a quantidade de luz que não a atravessa. Atiramos-lhe ondas de luz, em vez de pedras, é a mesma ideia.
Filha: Oh!
...
Filha: Mas então porque é que não podemos medir o conhecimento dessa maneira?
Pai: Como? Por questionários? Não. Que Deus Nosso Senhor nos proíba. O problema é que esse tipo de medida deixa de fora o teu ponto: que há tipos diferentes de conhecimento e que há conhecimento acerca do conhecimento.

Quando se pretende medir o pensamento em toda a sua dinâmica, há que encontrar forma de avaliar e medir processos e não ficar confinado ao produto final desses processos. Acontece, porém, não ser líquido poder afirmar-se que os instrumentos por nós utilizados (relatos escritos, na sua essência) possam realizar esse objectivo.

Poder-se-ia alegar ser a descrição pelo aluno dos passos referentes a uma dada estratégia (por exemplo, a de planear) uma descrição retrospectiva da forma como essa estratégia se processou internamente. Admitindo que o pudesse ser, a forma incipiente como os alunos respondiam invalidaria, de algum modo, essa possibilidade.

Mas mesmo que as verbalizações escritas dos alunos fossem completas e consistentes, ainda assim as reservas apontadas se manteriam. Lembram-se aqui as críticas que muitos autores fazem aos próprios protocolos verbais e à técnica de "pensar em voz alta" que os suporta. Se é verdade que para muitos autores (por exemplo, para A. Brown, 1987) a melhor forma de uma pessoa evidenciar o grau de compreensão que revela do seu fun-

cionamento cognitivo é ser capaz de relatar verbalmente os seus processos mentais, também acontece, com efeito, que outros existem que colocam sérias reservas a esses procedimentos de investigação. Consideram-nos racionalizações *a posteriori* e mesmo, como é o caso de Nisbett e Wilson (citados por Kahney, 1986), "evidências espúrias" dos processos cognitivos dos sujeitos.

Ora é inegável que críticas como essas encaixam ainda melhor nos instrumentos baseados em relatos escritos. Quando muito, pode pensar-se que essas descrições possam ser um indicador (apenas um) da qualidade do processo em termos de produto final; mas nunca do pensamento em toda a sua dinâmica.

Além disso, convém lembrar que uma das características dos processos intelectuais relacionados com os mecanismos de controlo metacognitivo, associados a estratégias como o prever, o planear, o avaliar e o monitorizar, é o não serem necessariamente verbalizáveis (A. Brown, 1987). E se isso tem implicações imediatas do ponto de vista do ensino das mesmas (conhecimento tácito), tem obviamente implicações análogas no que tem a ver com a sua investigação. O simples facto da reconhecida dificuldade em distinguir o que é cognitivo do que é metacognitivo, assume-se, por outro lado, como um poderoso constrangimento à funcionalidade e eficácia das citadas verbalizações escritas, como ferramenta heurística de investigação cognitiva.

São, por outro lado, os próprios alunos a chamar a atenção para *outras fraquezas* desses instrumentos. E isso logo a começar pela sua relutância e inegável dificuldade em descreverem e justificarem por escrito — base

em que assentámos o teste de medição de estratégias metacognitivas — os seus esquemas e processos de pensamento:

> B.— Não é bem preguiça mental, é mais...*prefiro ter que fazer 10 problemas ou planificar do que ter que fazer um e ter de justificar.* **(E1)**

Sempre que na aula ou num teste se solicitava aos alunos a justificação das suas respostas, certo era que algum protesto se levantaria.

> E.— *Perante um problema qualitativo, em que te* seja solicitada a justificação, *tu tens facilidade em dar essa justificação* ?
> A.— Nem por isso !...
> E.— *Em geral, quando a gente pede muitas justificações, os alunos costumam logo protestar. Também protestas, A.? Qual é a tua grande dificuldade face às justificações?*
> A.— É a linguagem que nós devemos utilizar e usar os termos certos para ter ali. **(E1)**

Julgamos que, para além dos obstáculos cognitivos subjacentes, essa relutância às justificações pode ser também um reflexo nefasto das opções didácticas habitualmente reinantes na sala de aula, baseadas em apelos quase exclusivos ao pensamento convergente ("fechado") e em que os incentivos à construção de argumentações lógicas completas quase sempre se encontram ausentes. A aprendizagem da língua materna passa também por aí; ou seja, passa pela necessidade de os professores de ciências cuidarem mais da expressão escrita e oral dos alunos, não se limitando a solicitar respostas (escritas ou orais) de tipo "sim" ou não" e a tolerar argumentações que, ainda que linguisticamente incorrectas, sejam (será que o são?) "cientificamente aceitáveis".

Perante esse obstáculo imposto pelas justificações escritas, as entrevistas e os protocolos podem constituir uma alternativa heurística mais profícua, na investigação de natureza metacognitiva. Aliás, num trabalho que ti-

vesse como alvo principal o estudo do processo psicológico de resolução de problemas, dificilmente poderíamos ter evitado ir por aí. Mas dificilmente, também, uma intervenção ao nível da sala de aula como a que realizámos poderia tomar essa via como vector heurístico fundamental. Nem sequer eram esses os reais propósitos que nos moviam: interessava-nos, mais do que estudar o processo psicológico de resolução de problemas, aproveitar as indicações já derivadas por outros mais vocacionados e mais especificamente preparados para esse tipo de pesquisa, no sentido de com elas tentar modificar a situação crítica vigente na sala de aula, no que se relaciona com a aprendizagem e a resolução de problemas em física.

Havia, assim, a necessidade de usar de algum pragmatismo. É que, mesmo assim, tudo isso implicou uma desmultiplicação que dificilmente um professor que, no seu dia-a-dia, pretenda conciliar a sua função de professor com a de investigador, terá disponibilidade e motivação para nela se comprometer.

Sintetizando. Não temos dúvidas em afirmar que o estudo que realizámos surtiu principalmente efeito no que tem a ver com a competência cognitiva dos alunos na resolução de problemas quantitativos e na criação de estados afectivos e metacognitivos facilitadores. Terá ele, nesse âmbito, fornecido importantes pistas para uma mudança das didácticas tradicionais de resolução de problemas, a caminho de abordagens de orientação mais metacognitiva e menos mecanizadora. Os problemas com enunciados extensos revelaram-se, para esse fim, uma ferramenta potencialmente frutífera. Quanto ao desenvolvimento das competências metacognitivas e da capacidade de pensar, é uma questão que neste estudo ficou algo em aberto. Trata-se de um aspecto da investigação que pode, ou melhor, que

deve ser continuado no futuro, por constituir aquele desenvolvimento um impositivo que esse mesmo futuro vem (está a) colocar.

De qualquer modo, estamos convictos de que o *balanço é francamente positivo.* Apesar de reconhecermos estar a investigação em resolução de problemas ainda na sua infância, temos assim motivos para acreditar que a nossa proposta de levar essa investigação à sala de aula, um pouco à revelia de posições como as de Garrett (1987) ou de Good e Smith (1987), constituiu uma boa aposta.

E consegue ganhos consistentes com os resultados daqueles (poucos) estudos que, também no âmbito da sala de aula e para fins similares, foram realizados (Chiappeta e Russel, 1982; Cruz, 1988, 1989 e Shaw, 1983, por exemplo). Ganhos esses que vão ao encontro das posições dos que defendem a necessidade de métodos didácticos de resolução de problemas, caracterizados por uma maior *sistematização* (Hernandez e Hudson, 1986; Mettes et al., 1980, 1981a, 1981b; van Weeren, Mul e Peters, 1982), e por uma maior *explicitação* do conhecimento declarativo e processual (Heller e Reif, 1984; Reif, 1981, 1983a, 1983b). As *fichas de resolução de problemas,* forma que encontrámos de compensar as já mencionadas insuficiências na interacção oral dialogada, foram aí de uma utilidade inestimável. A reacção favorável dos alunos às mesmas, principalmente veiculada através das entrevistas, é disso prova concludente.

Preditores da Mudança: Outra Questão em Aberto

Pensamento lógico. Em consonância com a literatura (Cantu e Herron, 1978; Garnett et al., 1985; Lawson, 1982a; Lawson e Renner, 1975;

Padilla et al., 1983; Sequeira, 1981), comprovámos as grandes insuficiências dos alunos neste tipo de tarefas cognitivas — médias e medianas negativas (abaixo de 50%), quer em termos de grande grupo, quer de cada grupo (E1 ou C) considerado individualmente.

Detectámos, por outro lado, correlações cuja regularidade apontava para alguma associação do pensamento lógico com os pré-testes de resolução de problemas (relacionados com competências mais cognitivas) e fraca associação com a metacognição — ou, mais precisamente, com os itens que dão corpo à variável TESTM.

Curiosamente, essa tendência correlacional identificada nos pré-testes, deixa de se verificar nos pós-testes, no caso do Grupo E1. Admitimos que dado ser esse o grupo mais beneficiado com a intervenção, o efeito da mesma se possa ter sobreposto ao possível efeito diferenciador do pensamento lógico, sendo isso um ponto a favor da hipótese colocada. No entanto, e de forma suficientemente conclusiva, apenas no caso da variável TMEC10 existe alguma legitimidade para considerar que a variável pensamento lógico possa funcionar como um bom preditor de mudanças. É, por outro lado, totalmente desprezável a sua influência no campo afectivo.

Estilos epistémicos. Não abundam na literatura referências significativas acerca da influência concreta dos estilos epistémicos no rendimento académico (Federico e Landis, 1984). As que existem, relacionadas com este tipo de construto, dizem sobretudo respeito aos estilos cognitivos (Kagan et al., 1964; Witkin, 1978; Witkin e Goodenough, 1991; Witkin et

al., 1977a, 1977b; ou aos estilos de aprendizagem (Dunn, Beaudry e Klavas, 1989).

De qualquer modo, e por considerarmos, com Garrett (1989), os estilos uma variável potencialmente importante na diferenciação psicológica em resolução de problemas, decidimos avançar para a utilização dos estilos epistémicos por duas razões essenciais: primeiro, por os considerarmos apelativos na sua tentativa de integrar aspectos das dimensões afectiva e cognitiva do funcionamento psicológico (Wardell e Royce, 1977); segundo, porque o inventário de que dispúnhamos nos parecia um instrumento fácil de aplicar, requisito importante sobretudo se atendermos ao facto de se estar perante um aspecto colateral na nossa pesquisa.

É evidente que ao vermo-nos forçados a retirar o estilo racional da análise, dado o número diminuto dos seus efectivos, impúnhamos desde logo condicionantes ao sucesso da investigação concreta aqui em jogo. E a verdade é que, baseados apenas nos dois estilos remanescentes, os resultados que obtivemos não parecem indiciar ser o estilo epistémico um bom preditor das mudanças cognitivas, metacognitivas e afectivas detectadas. Essa inferência é, aliás, congruente com a ideia de Garrett (1989) de que a relação entre os estilos cognitivos e a resolução de problemas não está ainda inequivocamente comprovada, antes surgindo na literatura muitas vezes sobredimensionada.

Consideramos, porém, que a hipótese da influência deste tipo de estilos nas actividades de aprendizagem e de resolução de problemas não se encontra esgotada. Amostras mais amplas que possam fazer intervir os três estilos e, eventualmente, instrumentos mais fiáveis são algo que investigações futuras devem prosseguir. A grande generalidade e abrangência

deste construto, se, por um lado, o tornam apelativo na sua intenção de colocar em interacção dialéctica os aspectos afectivo e cognitivo, tornam, por outro, mais difícil e problemática qualquer tentativa de o operacionalizar.

Sendo assim, a nossa forte convicção na hipótese da individualidade na aprendizagem e na resolução de problemas mantém-se de pé. Seria, por exemplo, interessante investigar em que medida pode ou não ser uma questão de estilo cognitivo o facto de apenas um número restrito de alunos conseguir ter habitualmente sucesso em física. O que equivaleria a, como muitas vezes se admite, investigar se a física é uma disciplina só acessível a uma elite de alunos (os que possuíssem a dimensão de estilo adequada); ou se, pelo contrário, por modificação do *status quo* vigente na sala de aula, a maior parte dos alunos poderia ter acesso mais facilitado à física. Não encontramos resposta fácil e conclusiva para esta questão. Deixamos apenas algumas pistas, por nos parecer ela pertinente e ajustada a esta problemática dos estilos, nas suas relações com o rendimento e o sucesso educativo.

Será a física uma disciplina elitista? Numa das aulas com a turma de controlo, testemunhámos uma situação em que interveio o melhor aluno dessa turma, a qual parece ser um ponto a favor de uma resposta afirmativa para a questão anterior; isto é, a favor da ideia de que é inquestionável, à partida, a vantagem dos melhores alunos para a aprendizagem da física. Eis um relato dessa situação:

> Como vem sendo habitual, o H. tem revelado grande facilidade em apreender a mensagem científica que procuro transmitir. E isso a ponto de, na aula de ontem, ter conseguido tirar apontamentos da explicação que estava a ser fornecida, ao

mesmo tempo que copiava, pelo caderno de um colega, apontamentos de uma aula de matemática a que havia faltado. Tendo constatado o facto, decidi intervir, questionando o aluno acerca da inoportunidade de numa aula de física se encontrar a passar apontamentos de outra disciplina. Retorquiu-me que isso não impedia que não estivesse também a tirar apontamentos de física. Com algum espanto, pude verificar que o aluno estava a falar verdade. A sua facilidade a física possibilitava-lhe conciliar as duas tarefas em que se empenhara. No mesmo sentido, vai o que com o mesmo aluno sucedeu na aula de hoje. Manifestou ao longo da mesma constantes expressões de enfado sempre que me via forçado a repetir (às vezes, mais do que uma vez) para os colegas a explicação de determinados assuntos. Foram nele frequentes expressões do tipo: *Oh professor, outra vez?!* No final da aula, chamei-o de parte, alertando-o para o facto de, num grupo, haver alunos com ritmos e estilos de aprendizagem diferentes. Que tivesse paciência, uma vez que o tempo de que ele necessitava para aprender a mensagem era muito menor que o dos colegas. Percebeu a questão e, caso curioso, foi ele próprio a, na aula seguinte, me chamar a atenção para o facto de numa explicação ter tomado como adquirido um passo que na sua opinião necessitava de ser explicitado, uma vez que se é verdade que ele o tinha facilmente intuído, podia acontecer que outros o não tivessem conseguido realizar.

Por outro lado, numa das entrevistas realizadas, e tirando partido de alguma flexibilidade com que as mesmas foram conduzidas, orientámos o rumo da conversa para a questão em epígrafe. E travámos com os dois alunos intervenientes o seguinte diálogo, o qual vem lançar a controvérsia sobre a legitimidade de inferências como a que a passagem precedente naturalmente nos leva a induzir:

E.— *Há autores que afirmam que a física* (falando agora só de física), sobretudo a um nível já avançado, *é uma disciplina só acessível aos bons alunos. Acham que isso é verdade? Ou, ao contrário, pensam que todos conseguem atingir a física* ?

R.— Eu acho que todos conseguem, se for bem dada e se nós tivermos as bases ; por vezes, também falta a matemática. Agora se começa a ser dada sem lógica nenhuma ... é muito difícil apanhá-la.

...

E.— *E tu, A.?*

A.— Bom... *normalmente quando nós vemos a física é sempre os bons alunos, sempre as grandes cabeças, os grandes cérebros...* porque eles são capazes de ter um raciocínio... mesmo vocacionado para aquilo...

E.— *Então parece que estás um pouco em contradição com o teu colega: ele disse que, em determinadas condições, todos os alunos conseguirão aprender física; ao contrário, tu acabas de afirmar que é possível que haja alunos com um raciocínio mais vocacionado para a física do que outros.*

A.— Sim.

E.— *Estás em desacordo com ele, R.?*

R.— Eu penso que *há sempre um treino, um treino de raciocínio e que há quem precise mais desse treino para chegar a determinados conhecimentos de física e há quem precise menos.*

E.— *Ah ...*

Os dois alunos encontravam-se em posição divergente.—enquanto um deles parecia apontar para uma resposta afirmativa à questão aqui em foco, o colega, pelo contrário, achava ser possível com o treino compensar possíveis insuficiências intrínsecas — o razoável sucesso do Grupo E1 nas competências de resolução de problemas, nomeadamente nos de índole quantitativa, parece, inclusivamente, secundar a opinião do segundo aluno. Não podemos deixar de simpatizar com a posição deste aluno; doutro modo, pouco sentido teria a investigação que conduzimos. Vale a pena, no entanto, lembrar aqui um caso recorrentemente citado: o que envolve os dois melhores alunos do grupo de controlo. A sua análise vem demonstrar que, apesar de tudo, aquela não pode deixar de ser considerada uma questão controversa, a exigir estudos sistemáticos e consequentes. Por nós, limitamo-nos aqui a deixar algumas pistas.

O que importa frisar neste contexto é que, mesmo sem intervenção específica, aqueles dois alunos do grupo de controlo acabam por obter resultados acima das médias dos dois grupos em todas as variáveis, com uma pequena excepção para o caso do *Teste de Estratégias Metacognitivas*

(TESTM). Essa evidência pode, só por si, constituir um ponto a favor da tese de que alunos existem que, em virtude de características intrínsecas (de estilo, de competências ou de ambos) têm à partida vantagens na aprendizagem e na resolução de problemas de física. Seria pois um ponto a favor da tese de que a física acaba de facto por ser uma disciplina se não elitista pelo menos pouco acessível à maioria dos alunos.

Voltemos, contudo, à variável TESTM. Aí a situação é, de facto, parcialmente diferente. Embora ambos os alunos tenham experimentado progressos, e tenham continuado no final claramente destacados do seu grupo, um deles, o João, vê-se alcançado pelo grupo experimental. O facto de isso acontecer com esta variável, por contraposição às outras, pode muito bem constituir uma evidência (pequena que seja) a favor da necessidade e utilidade dos treinos em metacognição na sala de aula.

Por outro lado, a situação verificada de os alunos do grupo experimental terem, em média, aproximado nesta competência os seus desempenhos do João e se terem aproximado nas outras de ambos os alunos de controlo, pode significar a plausibilidade da hipótese de que alguma coisa poderá vir a ser feita na escola, no sentido de compensar insuficiências cognitivas intrínsecas. Tanto mais que, como o fazem notar Witkin e Goodenough, (1991) a propósito das diferenças observadas entre indivíduos independentes e dependentes de campo, é só nalgumas tarefas problemáticas (por exemplo, as que impliquem o isolamento de algum elemento crítico do contexto global) que os primeiros parecem superar os segundos; não está provado que o mesmo aconteça em tarefas de outra natureza.

É preciso, contudo, não escamotear que se o João tivesse podido beneficiar do treino facultado aos alunos do grupo experimental, ele próprio teria por certo visto o seu potencial metacognitivo desenvolver-se mais acentuadamente, distanciando-se mais, em consequência, da média daquele grupo. E é o direito à diferença que vem aqui ao de cima como questão controversa.

Questão para a qual não dispomos obviamente de resposta conclusiva, tanto mais que a argumentação que desenvolvemos nos manteve num intrincado círculo vicioso. Para sair dele, ou seja para encontrar uma resposta fundamentada e consistente, estudos adequados se reclamam. A dimensão cognitiva dos estilos pode, na verdade, ter aí, eventualmente, um papel a desempenhar.

Questões Metodológicas: Propostas de Actuação

Instrumentos de Medida como Meio de Avaliação Regular

Aludimos já a este aspecto aquando da consideração da forma diferente em que os alunos dos grupos E1 e C se envolveram na realização dos TPC, quando constataram serem eles também uma forma de avaliação regular. Por condicionalismos derivados da sua especificidade institucional, no Grupo E2 não foi possível enquadrar os instrumentos de medição utilizados como forma substantiva do processo avaliativo regular dos alunos. Esses instrumentos foram por isso aplicados nesse grupo muito na base do

voluntariado, sobretudo no que tem a ver com as suas versões-pós. Dado o final antecipado das aulas na escola em causa, essa aplicação teve que ser efectivada mesmo em cima desse final das actividades lectivas, o que implicou que uma parte significativa dos alunos a eles não tenha comparecido.

Não nos resta margem para dúvidas que o grau de comprometimento do aluno passa nessas circunstâncias logo a ser diferente. Prova disso são afirmações por eles proferidas como "aquilo já não faz falta, já não é um teste", "já não serve para nada":

E.— *E quanto a recordar a informação de que necessitas? Tens facilidade em seleccionar da tua memória aqueles tópicos que são necessários para resolveres o problema?*

L.— Normalmente tenho... apesar de nesta última ficha... já foi mais difícil porque... não sei, a gente está a pensar... pronto, *aquilo já não faz falta, já não é um teste...* **(E2)**

E.— *A tua turma resolveu uns testes que não eram para classificação. Esses testes tinham uns problemas em que se pedia que vocês resolvessem não só a parte quantitativa mas também que respondessem a uma série de questões prévias, com aspectos como distinguir a informação relevante da acessória, identificar o verdadeiro problema, etc. Estás-te a lembrar disso?*

S.— Estou.

E.— *Tiveste facilidade em responder a essas questões?*

S.— Não, até tive mais dificuldade, porque... eu... não sei... aquilo a gente chega a um certo ponto, acabaram os testes e está descansado!... Depois a professora apareceu lá com aquilo e a gente ... Mas a gente tem que fazer isto outra vez?!

E:.— *E vocês sentiram dificuldade?*

S.— Mais por causa do... pronto, a matéria foi dada, nos testes... estudámos para eles, e depois no resto... *já não serve para nada...* **(E2)**

Ao contrário, foi desde logo ponto assente com os grupos E1 e C que, de um modo ou de outro — fosse como factor de aferição ou como parâmetro de avaliação formativa ou somativa —, todas as actividades e tarefas realizadas poderiam ser alvo de avaliação. De início colocaram-se-nos algumas dúvidas no que respeita à justeza dessa medida. Sentimos agora que a mesma ter-se-á revelado correcta ou, pelo menos, a mais adequada àquelas circunstâncias concretas. Julgamos, por motivos sobejamente expostos, que essa é a única forma de assegurar um comprometimento razoável dos alunos com os instrumentos de medição, garantindo assim uma maior fiabilidade das medidas com eles obtidas.

O Professor-Investigador ou o Investigador-Professor

Avançámos já, aquando da análise de mudanças por campos, algumas causas justificativas para o relativo menor sucesso do Grupo E2, comparativamente ao alcançado pelo Grupo E1. O menor tempo de intervenção é, quanto a nós, uma daquelas cujo efeito negativo terá sido particularmente gravoso. E isso ter-se-á feito sentir com especial incidência no caso da variável TESTM. A metacognição, sendo como é cognição sobre cognição, implicará, seguramente, competências de pensamento a um nível mais elevado do que a cognição em sentido estrito. Implicando competências de pensamento a um nível mais elevado, implicará por certo maior tempo de treino, para que possam acontecer mudanças significativas detectáveis.

Mas nem só essa variável tempo pode ser aduzida como possível justificativo para esse menor sucesso do Grupo E2 na vertente metacognitiva (e também na vertente qualitativa, por razões já suficientemente exploradas aquando da crítica ao modelo da mudança conceptual). Pelo simples facto

de se tratar de uma gama de competências intelectualmente exigentes, e de promoção pouco habitual em situações de sala de aula, será em princípio mais difícil a um professor-não-investigador do que a um investigador-professor fomentar essa promoção.

Ora, como sabemos, uma diferença importante separava os dois grupos experimentais: enquanto os alunos do Grupo E2 trabalharam com os seus próprios professores, os alunos de E1 trabalharam com o investigador. Isso não significa que o investigador tenha sido "melhor professor" do que os outros professores. Significa, tão só, que terá ele, em princípio, mais facilidade de comunicar os seus próprios modelos do que os professores, que tiveram, em contraste, de tentar comunicar modelos alheios. E alheios porque as mensagens enviadas pelo investigador passarão sempre pelo crivo idiossincrático de quem as recebe.

Coerentemente com as teses desenvolvidas a propósito da caracterização da epistemologia construtivista, nomeadamente com a teoria de Kelly (1963, 1991), diremos, em síntese, que será sempre idealmente impossível transferir modelos e concepções já feitos da mente de um indivíduo para a de outro indivíduo. E seguindo essa linha de raciocínio, não podemos deixar de concluir que este tipo de intervenção terá maior probabilidade de sucesso se a mesma for conduzida pelo próprio investigador, na dupla função de investigar e ensinar.

Entrevistas aos Pares

Conforme já referimos, foi por circunstâncias meramente ocasionais que a maior parte das entrevistas que efectuámos foi realizada a pares de alunos. Por termos sentido a diferença abissal entre as entrevistas antes reali-

zadas individualmente e a primeira entrevista a, por solicitação expressa de um aluno, ser realizada aos pares, rapidamente adoptámos esse formato. É claro que aí tivemos de tomar uma opção; e ela fazia-se entre a perda de algum rigor, derivado do facto de termos de comparar dados provenientes de entrevistas individuais e de entrevistas aos pares, e o ganho na maior riqueza do material recolhido. Achámos preferível a segunda alternativa. Até porque era visível o maior à vontade dos alunos sempre que entrevistados aos pares; um deles estimulava o outro. Isso garantia uma maior disponibilidade para dialogar e "reflectir", revelando-se assim mais francos, mais espontâneos e ficando, desse modo, cognitiva e afectivamente menos constrangidos:

E.— *Por exemplo, Z., que tens a dizer desta entrevista?*
Z.— Achei interessante.
E.— *Porquê?*
Z.— Acho que *é uma entrevista assim mais* ... pronto ... *estou a reflectir* não é ... pronto...*mais à vontade* .... sem estar ... **(E1)**

A tal ponto isso aconteceu que nalguns casos nos atrevemos a encaminhar o rumo da conversa para campos que extravasam, de certo modo, o foco principal da investigação. Esta não pretende, como sabemos, ser um estudo sobre metacognição, mas um estudo de inspiração metacognitiva. Contagiados pela espontaneidade dos alunos, deixámo-nos, contudo, levar para campos que raiam o domínio da metacognição. Movia-nos a curiosidade de averiguar a forma como os alunos eram capazes de descrever e consciencializar os seus estados mentais. E obtivemos interessantes registos que, longe da pretensão de constituirem autênticos momentos de investigação metacognitiva não deixam de, a nosso ver, constituir preciosas pontes para o nosso futuro como investigadores. Com o objectivo de o ilustrar e de ilustrar mais uma vez as potencialidades (pedagógicas, di-

dácticas e investigativas) deste tipo e formato de entrevista, deixamos em baixo um excerto que consideramos significativo, no qual, até para não desvirtuar a espontaneidade dos entrevistados, deixamos inalterado o calão juvenil a que, por vezes, os mesmos naturalmente recorrem:

E.— *Ouçam lá! A gente quando está a pensar nesse plano tem consciência de que está a pensar?*

...

E.— *Ou é assim uma coisa que ocorre automaticamente sem a gente se aperceber?*

N.— Às vezes, quando é uma situação nova, um gajo tem que estar a pensar muito mais.

E.— *Mas como é que tu tens consciência de que estás a pensar?*

N.— Como é que tenho consciência?

...

E.— *Por exemplo, tu estás a pensar no plano. Como é que sabes que estás a pensar no plano e não, por exemplo, na praia?*

N.— Pronto! Estou à procura de uma resposta, estou a tentar fazer aquilo...

E.— *Quando tu estás a resolver problema sozinho, achas que se está a travar uma espécie de diálogo?*

N.— Estou a falar comigo mesmo: *Agora tenho que fazer aqui assim. Depois tenho que pegar naquele...*

E.— *E ouves-te?*

N.— Ouço (de pronto, rindo).

E.— *Mas como é que te ouves, se tu não falares?*

N.— Às vezes falo! (ri)

E.— *Mas nos casos em que não falares...*

N.— É cá dentro ... (ri-se)

E.— *Vocês têm ideia de que há qualquer coisa lá dentro, na vossa cabeça?*

R.— Sim, a funcionar.

N.— Sim.

E.— *E o quê, o que é que vocês chamariam a isso?*

N.— As sinapses! ... E muitas vezes imagino.

E.— *E quase tens a ideia de que as coisas que imaginas lá estão materializadas?*

N.— Eu faço sempre isso ... Eu faço sempre isso.

E.— *Mas explica lá melhor o que é que fazes.*

N.— Por exemplo, quando foi a travagem do automóvel, eu imaginei um gajo numa rua ... assim numa rua plana ... a travar assim a fundo. Até ouvi o barulho e tudo! No exemplo do barco, pensei eles assim a remar, pensei eles assim a decidirem... *Quanto tempo é que me daria ? Quanto à aceleração ...*

E.— *E dizes que quase sentes esses barulhos?*

N.— Sim, sinto esses barulhos ... sinto esses barulhos!

E.— *E tu R., também sentes esses barulhos lá dentro?*

R.— Não sinto esse barulho... mas, por exemplo, o problema dos carros e isso ...

E.— *Mas parece-te que há carros na tua cabeça?*

R.— (rindo) ... eu, por exemplo, assim não estou a ver, mas cá dentro estou a vê-los ... assim a imaginá-los.

...

E.— *Acham que é preciso ter um controlo constante sobre o que se está a fazer?*

...

E.— *Um controlo, quer dizer estar constantemente a avaliar ...*

N.— Ah!... Já sei, avaliar.

R.— É preciso.

E.— *E como é que a gente sabe que está a avaliar o que está a fazer?*

N.— A mim dá-me um aperto na barriga!...

E.— *Mas tirando esse aperto, quando estás a resolver um problema, como é que tu sabes que, em princípio, estás a ir no bom caminho?*

N.— É a tal coisa ... Não é aperto da barriga, mas uma pessoa sente, eu por acaso sinto às vezes que me está a dizer uma coisa Fico assim... *Mas o que aqui está não pode ser assim dá-me...* É inconsciente ...

E.— *É inconsciente? Mas não ouves outra vez o tal diálogo, algo que te diz assim ouve lá: ...*

N.— Mas inconscientemente, qualquer coisa diz-me assim: Não, isto não está, não está a ir bem!...

E.— *Há qualquer coisa que te diz que não está bem...*

N.— Pois é ... mas não é uma coisa que eu pense assim ... que eu esteja a ser consciente ... é uma coisa que vem mesmo cá de dentro. É a tal coisa ...

E.— *É o tal diálogo. Mas repara: quando há um diálogo, há pelo menos duas pessoas. Então, quando estás a resolver um problema, sem falar, a falar contigo próprio, como é que chamas à outra pessoa?*

R.—*É a consciência.*

O Repensar de uma Actuação

Caracterizámos o nosso estudo como uma investigação de tipo quase-experimental, com grupo de controlo não equivalente. Seria suposto que esse grupo de controlo, para que o controlo pudesse realmente ser maximizado, seguisse uma abordagem que, à falta de melhor termo, designámos de tradicional, sem que interferências surgissem com aqueles aspectos que melhor tipificam a oposta abordagem experimental.

Confessámos já a nossa incapacidade — encarada a vários níveis de análise —, em fazer cumprir esse requisito no grupo a nosso cargo; como não temos dúvidas em afirmar incapacidade correlativa das professoras que connosco cooperaram em, agora em sentido contrário, assegurarem a inexistência de interferências entre os esquemas tradicionais — essas professoras, ao mesmo tempo que realizavam a experiência numa turma, leccionavam uma outra turma do mesmo ano de escolaridade, não incluída na experiência —, e a turma experimental. São prova evidente da incapacidade antes confessada, as palavras que a seguir inserimos de um dos alunos do grupo de controlo:

E.— *Olha, causa-te algum horror estudar física ?*
F.— Não.
E.— Apesar de teres dificuldades?
F.— Sim apesar de ter dificuldades. *Como este ano foi dada, não. Agora como me foi dada a mim no 10.º ano em que chumbei foi horrível*
E.— Em que é que distingues esses dois métodos ? Não vamos distinguir professores, mas sim os métodos utilizados.
F.— O método do ano passado era diferente. Nós baseávamo-nos só com o livro, só fazíamos problemas do livro, nada de concreto. Aqui não. As fotocópias, o método como demos a matéria, ajudou...

Quer dizer: sendo um aluno de controlo, desenvolve uma argumentação que, de algum modo, seria suposto ser mais típica de um aluno experimental. O aluno compara o método do ano lectivo precedente com o do ano em causa, e nota grandes diferenças a favor deste último. E não parece estar a comparar professores, uma vez que um dos aspectos que releva é o apoio dado por fotocópias em desfavor do livro. Ora seria suposto neste grupo seguirmos "à risca" o livro. Simplesmente, e como já o confessámos, casos houve em que a nossa faceta de professor (educador) submergiu a de investigador. Isso aconteceu nos casos em que estávamos convictos da total irrazoabilidade das propostas preconizadas pelo manual.

Mas essa fuga consciente aos cânones da investigação quantitativa experimental (essa interferência provocada por motivos práticos e éticos) não resolve um problema de consciência mais profundo: o de, à partida, ao enveredarmos por este tipo de desenho, sentirmos estar a privilegiar uns grupos em desfavor de outro (o de controlo). Isto porque, ao experimentar este tipo de propostas de actuação didáctica, o investigador parte quase sempre do pressuposto — de outro modo não investigaria — que a sua proposta é melhor do que as existentes. Duvidamos assim da legitimidade que ao investigador (que é também neste caso um professor) cabe de não provocar essas interferências.

Isto não significa que estejamos a renegar o que antes afirmávamos: a validade dos estudos de orientação quantitativa a par com os de orientação qualitativa. É antes um repensar a utilização de alguns dos seus formatos, sempre a caminho de esquemas de actuação educacionalmente mais justos e mais profícuos; o que passa, a nosso ver, pelo reforço da cooperação quantitativo-qualitativo.

No próprio seio dos desenhos experimentais, existem soluções que podem ajudar a colmatar algumas das nossa dúvidas: aquelas em que se verifica alternância no tempo entre os grupos, no que diz respeito ao seu estatuto como experimentais ou de controlo. Só que, no nosso caso, as limitações temporais inviabilizavam por completo opções desse tipo.

Por outro lado, é bem possível que caminhos existam por inexplorar no mundo complexo da pesquisa em educação. E talvez as metodologias de orientação vygotskiana, que ora estão a ser redescobertas, possam, também aí, dar uma contribuição inestimável. Essa será uma avenida prometedora mas ainda por (re)descobrir no domínio da educação em ciências que, por razões já suficientemente exploradas, nos parece podermos trilhar com sucesso no futuro. É que, como diz Goethe:

> Qualquer pessoa que, durante um certo período de tempo, persiste na investigação honesta, terá de alterar um dia ou outro o próprio método. (Goethe, Máximas e Reflexões, p. 231)

Não nos podemos esquecer que Vygotsky é hoje em dia considerado por alguns autores (por exemplo, Bråten, 1991a, 1991b, 1992) o grande pioneiro daqueles que defendem caber à escola a missão superior de incentivar e promover o desenvolvimento do pensamento reflexivo e consciente, isto é, da metacognição. E talvez essa possa ser uma via de reabilitar a imagem da escola, por vezes tão desacreditada, muito por influência de abordagens suportadas por aquilo que H. Simon (1980) designa de "falácia da memorização rotineira".

A Terminar

Apesar dos constrangimentos apontados, de algumas previsões não confirmadas, de algumas metas menos atingidas, mesmo assim, parece-nos inegável ter o nosso estudo contribuído se não para espalhar a alegria da física pelos alunos dos grupos experimentais, pelo menos para ajudar a construir a sua liberdade criadora. Não uma cultura assente num saber meramente passivo, reprodutivo, mas uma cultura feita de "actividade de pensamento", capaz de manter vivo o conhecimento construído. É que, como diz Sebastião da Gama, mais do que tudo, o que realmente importa é que eles se desenvolvam, que eles cresçam, que eles saibam resolver:

> Cada vez me apetece menos classificar os rapazes, dar-lhes notas pelo que eles "sabem". Eu não quero (ou dispenso) que eles metam coisas na cabeça; não é para isso que eu dou aulas. O saber — diz o povo — não ocupa lugar; pois muito bem: que *eles* saibam mas que o saber não ocupe lugar, porque o que vale, o que importa (e para isso pode o saber contribuir e só contribuir) é que eles se desenvolvam, que eles cresçam, que eles saibam "resolver", que eles possam perceber.
>
> — *Sebastião da Gama,* Diário.

E, com essa contribuição, terá este estudo ajudado a construir caminhos para o futuro da educação em ciências e, com ela, da educação em geral. Até porque, é agora Torga a lembrar-nos, o futuro vem aí:

> Junquem de flores o chão do velho mundo:
> Vem o futuro aí!
> Desejado por todos os poetas
> E profetas
> Da vida,
> Deixou a sua ermida
> E meteu-se a caminho.
> Ninguém o viu ainda, mas é belo.
> É o futuro...
>
> — *Miguel Torga,* Cântico do Homem.

BIBLIOGRAFIA

LISTA FINAL DE REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS[53]

A.A.A.S. (1989a). *Project 2061 — Science for all Americans.* Washington, DC: A.A.A.S. Publications.

A.A.A.S. (1989b). *Physical and information sciences and engineering.* Washington, DC: A.A.A.S. Publications.

Abimbola, I. O. (1983). The relevance of the "new" philosophy of science for the science curriculum. *School Science and Mathematics, 83,* 181-193.

Adey, P. (1987). Science develops logical thinking, doesn't it? Abstract thinking and school science. *School Science Review, 68* (245), 622-630.

Almeida, L. S. (1988). *Teorias da inteligência* (2.ª ed.). Porto: Edições Jornal de Psicologia.

Alquié, F. et al. (1987). *Galileu, Descartes e o Mecanismo.* Lisboa: Gradiva. (Tradução do original francês.)

Alvarenga, B. e Máximo, A. (1979). *Curso de Física* (Vols. 1 e 2). São Paulo: Editora Harper and Row do Brasil.

Anderson, J. R. (Ed.) (1981). *Cognitive skills and their acquisition.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Anderson, J. R. (1982). Acquisition of cognitive skill. *Psychological Review, 89* (4), 369-406.

Anderson, J. R. (1985). *Cognitive psychology and its implications* (2.ª ed.). Nova Iorque: Freeman and Company.

---

[53] Na linha do que se vem tornando regra no mundo da pesquisa educacional, sobretudo da identificada com o ensino-aprendizagem das ciências, adoptamos neste trabalho, genericamente, as normas preconizadas pela **APA** (American Psychological Association), tanto no que diz respeito a referências bibliográficas inseridas no texto, como no que tem a ver com a organização da presente lista.

Anderson, J. R. et al. (1981). Acquisition of problem-solving skill. In J. R. Anderson (Ed.). *Cognitive skills and their acquisition.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Anderson, L. e Burns, R. (1991). *Research in classrooms: The study of teachers, teaching, and instruction.* Londres: Pergamon Press.

Arcà, M., Guidoni, P. e Mazzoli, P. (1990). *Enseñar ciencia: reflexiones para una educación científica de base.* Barcelona: Paidós Educador. (Tradução do original italiano.)

Armbruster, B. B., Echols, C. B. e Brown, A. L. (1982). The role of metacognition in reading to learn: a developmental perspective. *Volta Review, 84* (5), 45-56.

Arons, A. B. (1979a). Cognitive level of college physics students. *American Journal of Physics, 47* (7), 650-651.

Arons, A. B. (1979b). Some thoughts on reasoning capacities implicitly expected of college students. In J. Lockhead e J. Clement (Eds.). *Cognitive process instruction.* Filadélfia, PA: The Franklin Institute Press.

Arons, A. B. (1981). Thinking, reasoning and understanding in introductory physics courses. *The Physics Teacher, 19,* 166-172.

Arons, A. B. (1990). *A guide to introductory physics teaching.* Nova Iorque: John Wiley & Sons..

Ashmore, A. D., Frazer, M. J. e Casey, R. J. (1979). Problem solving and problem solving networks in chemistry. *Journal of Chemical Education, 56* (6), 377-379.

Ausubel, D. P., Novak, J. D. e Hanesian, H. (1978). *Educational psychology: a cognitive view* (2.ª ed.). Nova Iorque: Holt, Rinehart and Winston.

Aylesworth, T. G. (1965). The need for problem-solving. *Science Education, 49* (2), 156-162.

Bachelard, G. (1984). *A epistemologia.* Lisboa: Edições 70. (Tradução do original francês *L'épistémologie.*)

Baird, J. R. (1986). Improving learning through enhanced metacognition: a classroom stydy. *European Journal of Science Education, 68* (3), 263-282.

Bateson, G. (1986). *Metadiálogos.* Lisboa: Gradiva. (Tradução do original inglês.)

Beyer, B. K. (1984a). Improving thinking skills — defining the problem. *Phi Delta Kappan, 65* (7), 486-490.

Beyer, B. K. (1984b). Improving thinking skills — practical approaches. *Phi Delta Kappan, 65* (8), 556-560.

Bhaskar, R. e Simon, H. A. (1977). Problem solving in semantically rich domains: an example from engineering thermodynamics. *Cognitive Science, 1,* 193-215.

Biggs, J. (1988). The role of metacognition in enhancing learning. *Australian Journal of Education, 32* (2), 127-138.

Billeh, V. e Khalili, K. (1982). Cognitive development and comprehension of physics concepts. *European Journal of Science Education, 4* (1), 95-104.

Birch, W. (1986). Towards a model for problem-based learning. *Studies in Higher Education, 11* (1), 73-82.

Bliss, J., Monk, M. e Ogborn, J. (1983). *Qualitative data analysis for educational research.* Londres: Croom Helm.

Bliss, J., Ogborn, J. e Grize, F. (1979). The analysis of qualitative data. *European Journal of Science Education, 1* (4), 427-440.

Bloom, B., Krathwol, D. e Masia, B. (1976). *Taxonomia de objectivos educacionais* (1.ª ed.). Porto Alegre: Editora Globo.

Bodner, G.M. (1987). The role of algorithms in teaching problem solving. *Journal of Chemical Education, 64* (6), 513-514.

Bodner, G.M. e Mcmillen, T. L. (1986). Cognitive restructuring as an early stage in problem solving. *Journal of Research in Science Teaching, 22* (7), 727-737.

Brady, R. R. (1991). A close look at student problem solving and the teaching of mathematics: predicaments and possibilities. *School Science and Mathematics, 91* (4), 144-151.

Bransford, J. D. e Stein, B. S. (1986). *Solución ideal de problemas.* Barcelona: Editorial Labor. (Tradução do original inglês *The IDEAL problem solver,* 1984.)

Bransford, J. et al. (1986). Teaching thinking and problem solving. *American Psychologist, 41* (10), 1078-1089.

Bråten, I. (1991a). Vygotsky as a precursor to metacognitive theory: I. The concept of metacognition and its roots. *Scandinavian Journal of Educational Research, 35* (3), 179-182.

Bråten, I. (1991b). Vygotsky as a precursor to metacognitive theory: II. Vygotsky as a metacognitivist. *Scandinavian Journal of Educational Research, 35* (4), 305-320.

Bråten, I. (1992). Vygotsky as a percursor to metacognitive theory: III. Recent metacognitive research within a Vygotskian framework. *Scandinavian Journal of Educational Research, 36* (1), 3-19.

Briars, D. J., (1983). An information-processing analysis of mathematical ability. In R. Dillon e R. Shmeck. *Individual differences in cognition* (Vol. 1). Nova Iorque: Academic Press.

Bronckart, J. P. (1985). Vygotsky, une oeuvre en devenir. In B. Schneuwly e J. Bronckart (Eds.) (1985). *Vygotsky aujourd'hui.* Paris: Delachaux e Niestlé.

Brophy, J. (1987). Synthesis of research on strategies for motivating students to learn. *Educational Leadership, 45* (2), 40-48.

Brown, A. L. (1975). The development of memory: knowing, knowing about knowing, and knowing how to know. In H. W. Reese (Ed). *Advances in child development and behaviour* (Vol. 10). Nova Iorque: Academic Press.

Brown, A. L. (1978). Knowing when, where, and how to remember: a problem of metacognition. In R. Glaser (Ed.). *Advances in instructional psychology.* Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Brown, A. L. (1987). Metacognition, executive control, self-regulation, and other more mysterious mechanisms. In F. E. Weinert e R. H. Kluwe (Eds.). *Metacognition, motivation and understanding.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Brown, A. L. e DeLoache, J.S. (1978). Skills, plans, and self-regulation. In R. Siegler (Ed.). *Children's thinking: What develops?.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Brown, D. e Clement, J. (1991). Classroom teaching experiments in mechanics. (Oferta dos autores.)

Brown, D. E. (1989). Students'concepts of force: the importance of understanding Newton's third law. *Physics Education, 24* (6), 353-358.

Bruner, J. S. (1961). The act of discovery. *Harvard Educational Review, 31* (1), 21-32.

Bruner, J. S. (1966). *Toward a theory of instruction.* Cambridge, Mass: Belknap, Harvard Press.

Bruner, J. S. (1978). On teaching thinking: an afterthougt. In R. Glaser (Ed.). *Advances in instructional psychology.* Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Bruner, J. S. (1989). *Acción, pensamiento y lenguage.* Madrid: Alianza Psicologia. (Tradução do original inglês.)

Bunce, D. M., Gabel, D. L. e Samuel, J. (1991). Enhancing chemistry problem solving achievement using problem categorization. *Journal of Research in Science Teaching, 28* (6), 505-521.

Bunge, M. (1982). *Filosofia de la fisica* (2.ª ed.). Barcelona: Editorial ARIEL. (Tradução do original inglês *Philosophy of physics,* 1973.)

Burns, M. (1976). *The book of think.* Boston: Little, Brown and Company.

Butts, D. P. (1965). The relationship of problem-solving ability and science knowledge. *Science Education, 49* (2), 138-141.

Caillot, M. (1984). La résolution de problèmes de physique: représentations et stratégies. *Psychologie Française, 29* (3/4), 262.

Cajori, F. (1960). *Newton's principia (Motte's translation revised).* Berkeley, CF: University of California Press.

Calatayud Aleixandre, M. L. et al. (1986). *Iniciación a las ciencias físico-químicas en la ensenãnza media* (Vol. 1). Valência: Seminário Didáctico de Física e Química del I.C.E. de la Universidad de Valencia.

Calatayud Aleixandre, M. L. et al. (1988). *La construccion de las ciencias físico-químicas (programas-guía de trabajo y comentários para el profesor).* Valência: NAU Libres.

Calatayud Aleixandre, M. L. et al. (1990). *La construccion de las ciencias físico-químicas.* Valência: NAU Libres.

Cantu, L. L. e Herron, J. D. (1978). Concrete and formal Piagetian stages and science concept attainment. *Journal of Research in Science Teaching, 15* (2), 135-143.

Carey, S. (1986). Cognitive science and science education. *American Psychologist, 41* (10), 1123-1130.

Carrilho, M. (1994). *A filosofia das ciências: de Bacon a Feyerabend.* Lisboa: Editorial Presença.

Carrillho, A. L. (1988). O estatuto epistemológico da pedagogia em Delfim Santos. *Revista Portuguesa de Pedagogia, Ano XXII,* 385-405.

Castro, E. A. e Fernández, F. M. (1987). Intellectual development beyond formal operations. *European Journal of Science Education, 9* (4), 441-447.

Chalmers, A. (1987). *Qué es esa cosa llamada ciencia?* (5.ª ed.). Madrid: Siglo Veintiuno de España Editores. (Tradução do original em inglês: *What is this thing called science?,* 2.ª ed., 1982.)

Champagne, A. B. e Klopfer, L. E. (1977). A sixty year perspectives on three issues in Science Education: I. Whose ideas are dominant?; II. Representation of women; III. Reflexive thinking and problem solving. *Science Education, 61* (4), 431-452.

Champagne, A. B., Gunstone, R. F. e Klopfer, L. E. (1985). Effecting changes in cognitive structures among physics students. In L. H. T. West, A. L. Pines (Eds.). *Cognitive structure and conceptual change.* Orlando, USA: Academic Press.

Champagne, A. B., Gunstone, R. F. e Klopfer, L.E. (1982). A perspective on the differences between expert and novice performance in solving physics problems. *Research in Science Education, 12,* 71-77.

Champagne, A. B., Klopfer, L. E. e Anderson, J. H. (1980). Factors affecting the learning of classical mechanics. *American Journal of Physics, 48,* 1074-1079.

Chance, P. (1986). *Thinking in the classroom — A survey of programs.* Nova Iorque: Teachers College Press.

Chi, M. T. H., Glaser, R. e Rees, E. (1982). Expertise in problem solving. In R. J. Sternberg (Ed.). *Advances in the psychology of human intelligence* (Vol. 1). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Chi, M.T. H., Feltovich, P. J. e Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science, 5,* 121-152.

Chiappetta, E. L. (1976). A review of Piagetian studies relevant to science instruction at secondary and college level. *Science Education, 60* (21), 253-261.

Chiappetta, E. L. e Russel, J. M. (1982). The relationship among logical thinking, problem solving instruction and application of Earth science subject matter. *Science Education, 66* (1), 85-93.

Claxton, G. L. (1989). Cognition doesn't matter if you are scared, depressed or bored. In P. Adey et al. (Eds.). *Adolescent development and school science.* Londres: The Falmer Press.

Clement, J. J. (1979). Mapping a student's causal conceptions from a problem-solving protocol. In J. Lochhead e J. Clement (Eds.). *Cognitive process instruction.* Filadélfia: The Franklin Institute Press.

Clement, J. J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics, 50,* 66-71.

Clough. E. E., Driver, R. e Wood-Robinson, C. (1987). How do children's scientific ideas change over time?. *School Science Review,* Dezembro, 255-267.

Clough. E., Driver, R. (1986). A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts. *Science Education,* 70 (4), 473-496.

Cohen, L. e Manion, L. (1985). *Research methods in education* (2.ª ed.). Londres: Croom Helm.

Cohen, M. W. (1986). Research on motivation: new content for the teacher preparation curriculum. *Journal of Teacher Education,* 23-28.

Coimbra, L. (1987). *Dispersos: II. Filosofia da Ciência.* Lisboa: Editorial Verbo.

Cook, T. e Campbell, D. (1979). *Quasi-experimentation: Design and analysis issues for field settings.* Boston: Houghton Miffin Company.

Coop, R. e Sigel, I. (1971). Cognitive style: implications for learning and instruction. *Psychology in the Schools, 8*, 152-160.

Corsini, R. (Ed.) (1987). *Concise Encyclopedia of Psychology.* Nova Iorque: John Wiley & Sons.

Costa, A. L. (1985a). *Developing minds: A resource book for teaching thinking.* USA: ASCD Edition.

Costa, A. L. (1985b). The behaviors of intelligence. In A. L. Costa (Ed.). *Developing minds: A resource book for teaching thinking.* USA: ASCD Edition.

Costa, A. L. (1984). Mediating the metacognitive. *Educational Leadership, Novembro,* 57-62.

Cruz, M. N. (1988). Desenvolvimento das capacidades metacognitivas e resolução de problemas. *Gazeta de Física, 11* (2), 51-55.

Cruz, M. N. (1989). *Utilização de estratégias metacognitivas no desenvolvimento da capacidade de resolução de problemas — um estudo com alunos de física e química do 10.ª ano.* Tese de Mestrado sob a Orientação da Prof.ª M. O. Valente. Universidade de Lisboa. Lisboa: Projecto Dianoia.

Cusak, M. et al. (1986). Teaching in junior secondary schools and its relationship to the development of formal operational thought. *European Journal of Science Education, 8* (1), 95-105.

Cutnell, J. D. e Johnson, K. W. (1989). *Physics.* Nova Iorque: John Wiley and Sons.

Cyert, R. M. (1980). Problem solving and education policy. In D. T. Tuma e F. Reif (Eds.). *Problem solving and education.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

D'Hainaut, L. (1992). *Conceitos e métodos da estatística* (Vol. II). Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. (Tradução do original em francês *Concepts et methodes de la statistique, tome 2,* 1975.)

da Gama, S. (1967). *Campo aberto.* Lisboa: Edições Ática.

da Gama, S. (1993). *Diário* (9.ª ed.). Lisboa: Edições Ática.

da Silva, A. (1990). *Uns poemas de Agostinho* (2.ª ed.). Lisboa: Ulmeiro.

Davis, J. K. e Cochrank F. (1989). An information processing view of field dependence-independence. *Early Child Development and Care, 43,* 129-145.

de Bono, E. (1968a). *New think.*. Nova Iorque: Avon Books.

de Bono, E. (1968b). *New think: The use of lateral thinking in the generations of new ideas.* Nova Iorque: Avon Books.

de Bono, E. (1987). *The use of lateral thinking.* Harmondsworth, England: Penguin Books.

de Jong, T. e Fergusson-Hessler, M.G.M. (1986). Cognitive structures of good and poor novice problem solvers in physics. *Journal of Educational Psychology, 78* (4), 279-228.

Deleuze, G. (1991). *A filosofia crítica de Kant.* Lisboa: Edições 70. (Tradução da obra em francês *La philosophie critique de Kant,* 1963.)

Descartes, R. (1989). *Regras para a direcção do espírito.* Lisboa: Edições 70. (Tradução do original em latim.).

Dewey, J. (1933). *How we think.* Lexington, Mass: D.C. Heath and Company.

di Sessa, A. (1982). Unlearning Aristotelian concepts in motion. *Cognitive Science. 6,* 37-75.

di Sessa, A. A. (1987). The third revolution in computers and education.*Journal of Research in Science Teaching, 24* (4), 343-367.

Doebler, L. K. e Eicke F. J. (1979). Effects of teacher awareness of the educational implications of field-dependent/field-independent cognitive style on selected classroom variables. *Journal of Educational Psychology, 71* (2), 226-232.

Domenech, J. L., Gil Pérez, D. e Martínez Torregrosa, J. (1989). La reconstrución de la síntesis newtoniana como requisito para un cambio conceptual efectivo em mecánica. *Enseñanza de las Ciencias, Número Extra* (Tomo I), 179-180.

Donnelly, J. (1979). The work of Popper and Kuhn on the nature of science. *School Science Review, 60,* 489 -500.

Drabkin, I. E. e Drake, S. (1960). *Galileo Galilei: On motion and on mechanics.* Madison: The University of Wisconsin Press.

Driver, R. (1981). Pupils' alternative frameworks in science. *European Journal of Science Education, 3* (1), 93-101.

Driver, R. (1983). *The pupil as a scientist?.* Milton Keynes: Open University Press.

Driver, R. (1986). Pupils' alternative frameworks in science. In J. Brown et al. (Eds.). *Science in schools.* Milton Keynes: Open University Press.

Driver, R. (1987). Restructuring the science curriculum: some implications of studies on learning for curriculum development. In M. Sequeira, L. Leite e M. Freitas (Eds.).. *Actas do I Encontro Sobre Educação em Ciências.* Braga: Universidade do Minho.

Driver, R. e Easley, J. (1978). Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in alolescent science students. *Studies in Science Education, 5,* 61-84.

Driver, R. e Erickson, G. (1983). Theories in action: some theoretical and empirical issues in the study of conceptual frameworks in science. *Studies in Science Education, 10,* 37-60.

Driver, R. e Oldham, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education, 6,* 45-68.

Driver, R., Guesne, E. e Tiberghien, A. (Eds.) (1985). *Children's ideas in science.* Milton Keynes: Open University Press.

Dufresne, et al. (1987). Hierarchically structured problem solving in elementary mechanics: guiding novices' problem analysis. *Paper presented at the Second Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics.* Cornell University, Ithaca, NY.

Dufresne, R. J. (1989). Problem-solving: learning from experts and novices. *Teaching Thinking and Problem Solving, 11* (1), 11-14.

Duncker, K. (1945). On problem solving. *Psychological Monographies, 58* (270).

Duncker, K. (1972). *On problem solving.* Westport, Connecticut: Greenwood Press Publishers.

Dunn, R. (1990). Rita Dunn answers questions on learning styles. *Educational Leadership, 48* (2), 15-19.

Dunn, R., Beaudry, J. e Klavas, A. (1989). Survey of research on learning styles. *Educational Leadership, 46* (6), 50-58.

Dunn, R., Dunn, K. e Price, G. E. (1987). *Learning Styles Inventory (LSI) — Manual.* Lawrence, USA: Price Systems.

Elkana, Y. (1970). Science, philosophy of science and science teaching. *Educ. Phil. & Theory, 2,* 15-35.

Epstein, L. C. (1986). *Thinking physics is "gedanken" physics.* São Francisco, CA: Insight Press.

Espinosa, B. (1987). *Tratado da reforma do entendimento.* Lisboa: Edições 70. (Tradução do original em latim *Tratactus de Intellectus Emendatione.*)

Federico. P. e Landis, D. B. (1984). Cognitive styles, abilities, and aptitudes: are they dependent or independent?. *Contemporary Educational Psychology, 9,* 146-161.

Fensham, P. J. (1980). A research base for new objectives of science teaching. *Research in Science Education, 10,* 23-33.

Ferguson-Hessler, M. e de Jong, T. (1991). A model of the cognitive aspects of physics instruction. *Paper presented at the Annual Meeting of the AERA.* Chicago, USA.

Fernandes, R. (1978). *O pensamento pedagógico em Portugal.* Lisboa: Biblioteca Breve — Instituto de Cultura Portuguesa.

Fernandes, R. (1979). *A pedagogia portuguesa contemporânea.* Lisboa: Biblioteca Breve — Instituto de Cultura Portuguesa.

Feyerabend, P. (1975). How to defend society against science. *Radical Philosophy, Summer 75,* 3-8.

Feyerabend, P. (1988). *Contra o método.* Lisboa: Relógio D'Água. (Tradução do original inglês *Against method,* 1988.)

Feyerabend, P. (1989). *Limites de la ciencia.* Barcelona: Paidós/ I.C.E.— U.A.B. (Tradução do original inglês *Realism, rationalism and scientific method. Philosophical papers, I* (cap. 4), 1962.)

Feynman, R. P. (1988). *A estranha teoria da luz e da matéria.* Lisboa: Gradiva. (Tradução do original inglês *The strange theory of light and matter,* 1985.)

Feynman, R. P. (1988). *Está a brincar Sr. Feynman!.* Lisboa: Gradiva. (Tradução do original inglês *Surely you're joking, Mr. Feynman!,* 1985.)

Finegold, M. e Mass, R. (1985). Differences in the processes of solving problems between good physics problem solvers and poor physics problem solvers. *Research in Science and Technological Education, 3* (1), 59-67.

Fiolhais, C. (1991). *Física divertida.* Lisboa: Gradiva.

Fisher, R. (1990). *Teaching children to think.* Oxford: Blackwell.

Flavell, J. H. (1976). Metacognitive aspects of problem solving. In L. B. Resnick (Ed.). *The nature of intelligence.* Hillsdale, NJ: Lawrence, Erlbaum Associates.

Flavell, J. H. (1981). Cognitive monitoring. In W. P. Dickson (Ed.). *Children's oral communication.* Nova Iorque: Academic Press.

Flavell, J. H. (1982). On cognitive development. *Child Development, 53,* 1-10.

Flavell, J. H. (1987). Speculations about the nature and development of metacognition. In F. E. Weinert e R. H. Kluwe (Eds.). *Metacognition, motivation and understanding.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Frank, D. et al. (1987). Should students always use algorithms to solve problems?. *Journal of Chemical Education, 64* (6), 514-515 .

Frazer, M. J. e Sleet, R. J. (1984). A study of students' attempts to solve chemical problems. *International Journal of Science Education, 6* (2), 141-152.

French, A. P. (1988). Some thoughts on introductory physics courses. *American Journal of Physics, 56* (2), 110-113.

Gage, N. L. (1989). The paradigm wars and their aftermath: a "historical" sketch of research on teaching since 1989. *Teachers College Record, 91* (2), 135-150.

Gagné, E. D. (1985). *The cognitive psychology of school learning.* Boston: Little, Brown and Company.

Gagné, R. M. (1985). *The conditions of learning* (4.ª ed.). Tóquio: Holt Saunders Japan.

Gamble, R. (1986). Simple equations in physics. *European Journal of Science Education, 1* (1), 27-37.

Garcia, C. (s.d.). Dar sentido a los datos: la combinacion de perspectivas cualitativo y cuantitativo en el analisis de entrevistas. (Oferta do autor.)

Gardner, H. (1985). *Frames of mind: the theory of multiple intelligences.* Nova Iorque: Basic Books.

Garnett, P. J., Tobin, K. e Swingler, D. G. (1985). Reasoning abilities of secondary aged 13-16 and implications for the teaching of science. *European Journal of Science Education, 7* (4), 383-397.

Garnier, C., Bednarz, N. e Ulanovskaya, I. (Eds.) (1991). *Après Vygotsky et Piaget.* Bruxelas: De Boeck-Wesmael.

Garrett, R. M. (1986). Problem-solving in science education. *Studies in Science Education, 13,* 70-95.

Garrett, R. M. (1987). Issues in science education: problem-solving, creativity and originality. *International Journal of Science Education, 9* (2), 125-137.

Garrett, R. M. (1988). Resolución de problemas y creatividad: implicaciones para el currículo de ciencias. *Ensenãnza de las Ciencias, 6* (3), 224-230.

Garrett, R. M. (1989). Problem solving and cognitive style. *Research in Science and Technological Education, 7* (1), 27-45.

Garrett, R., Satterly, D., Gil Pérez, D. e Martinez-Torregrosa, J. (1990). Turning exercises into problems: an experimental study with teachers in training. *International Journal of Science Education, 12* (1), 1-12.

Gibbs, G. (1981). *Teaching students to learn: A student-centred approach.* Milton Keynes: Open University Press.

Gil Pérez, D. (s.d.). La didactica de la resolución de problemas. *Comunicação apresentada no III Congresso da Associação Canária para o Ensino das Ciencias.* (Oferta do Autor.)

Gil Pérez, D. (1983). Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias, 1,* 26-33.

Gil Pérez, D. (1987). Aportacion del problem-solving al aprendizaje significativo de las ciências. In M. Sequeira, L. Leite e M. Freitas (Eds.). *Actas do I Encontro Sobre Educação em Ciências.* Braga: Universidade do Minho.

Gil Pérez, D. e Carrascosa, J. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education, 7* (3), 231-236.

Gil Pérez, D. e Carrascosa, J. (1990). What to do about science "misconceptions"?. *Science Education, 74* (5), 531-540.

Gil Pérez, D. e Martinez Torregrosa, J. (1983a). A model for problem solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education, 54* (4), 448-457.

Gil Pérez, D. e Martinez Torregrosa, J. (1983b). Problem solving in physics: a critical analysis. *International Summer Workshop: Research on Physics Education,* La Londe des Maures, França.

Gil Pérez, D. e Martinez Torregrosa, J. (1987). *La resolución de problemas de física: una didáctica alternativa.* Madrid/Barcelona: M.E.C./ Ediciones Vicens-Vives.

Gil Pérez, D. e Ramirez Castro, J. L. (1989). Cambio metodológico en la resolución de problemas de lápiz y papel — estudio experimental con professores en exercicio. *Enseñanza de las Ciencias, Número Extra* (Tomo I), 205-206.

Gil Pérez, D., Dumas-Carrée, A., Caillot, M. e Martinez Torregrosa, J. (s.d.). Paper and pencil problem solving as an activity of research. (Oferta do primeiro autor.)

Gilbert J. K. e Watts, D. M. (1983). Conceptions, misconceptions and alternative conceptions: changing perspectives in science education.*Studies in Science Education, 10,* 61-98.

Gilbert, G. (1980). How do I get the answer? Problem solving in chemistry. *Journal of Chemical Education, 57* (1), 79-81.

Gilbert, J. K., Osborne, R. J. e Fensham, P. J. (1982). Children's science and its consequences for teaching. *Science Education, 66* (4), 623-633.

Gilbert, J. K., Watts, D. M. e Osborne, R. J. (1982). Student conception of ideas in mechanics. *Physics Education, 17*, 62-66.

Ginsburg, H. e Opper, S. (1979). *Piaget's theory of intellectual development* (2.ª ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Giordan, A. e Vecchi, G. (1987). *Les origines du savoir.* Paris: Delachaux e Niestlé.

Glaser, R. (1985). All's well that begins and ends with both knowledge and process: A reply to Sternberg. *American Psychologist, 40* (5), 573-574.

Godoy, Z. e París Espinosa, R. (1989). Saben los maestros la física que enseñan?. *Enseñanza de las Ciencias, 7* (3), 251-256.

Goethe, J. W. (1992). *Máximas e reflexões* (2.ª ed.). Lisboa: Guimarães Editores. (Tradução do original alemão.)

Good, R. e Smith, M. (1987). How do we make students better problem solvers?. *The Science Teacher,* Abril, 31-36.

Gorodetsky, M. e Hoz, R. (1980). Use of concept profile analysis to identify differences in solving science problems. *Science Education, 64* (5), 671-678.

Grant, Edward (1977). *Physical science in the Middle Ages.* Cambridge: Cambridge University Press.

Green, B. F., McCloskey, M. e Caramazza, A. (1985). The relation of knowledge to problem solving, with examples from mathematics. In S. F. Chipman e J. W. Segal (Eds.). *Thinking and learning skills.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Greeno, J. G. (1978). A study of problem solving. In R. Glaser (Ed.). *Advances in instructional psychology* (Vol. 1). Hillsdale, NJ: John Wiley and Sons.

Greeno, J. G. (1980). Trends in the theory of knowledge for problem solving. In D. T. Tuma e F. Reif (Eds.). *Problem solving and education.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Griffith, W. T. (1985). Factors affecting performance in introductory physics courses. *American Journal of Physics, 53* (9), 839-842.

Griffiths, J. B. (1976). Towards the liberation of mechanics from bondage to Newton's laws. *International Journal of Mathematics Education for Science and Technology, 7* (1), 79-85.

Guidoni, P. (1985). On natural thinking. *European Journal of Science Education, 7* (2), 133-140.

Guidoni, P. (1989). Explicar y entender: un esquema alternativo para la representación de la mecánica clásica a todos los niveles de formación. *Enseñanza de las Ciencias, Número Extra* (Tomo I), 29-32.

Guilford, J. P. e Fruchter, B. (1986). *Fundamental statistics in psychology and education* (6.ª ed.). Nova Iorque: McGraw-Hill.

Guilford, J. P. (1986). Cognitive styles: what are they?. *Educational and Psychological Measurement, 40,* 715-734.

Gunstone, R. e Watts, M. (1985). Force and motion. In R. Driver, E. Guesne e A. Tiberghien (Eds.). *Children's ideas in science.* Milton Keynes: Open University Press.

Gunstone, R. F. (1987). Student understanding in mechanics: a large population survey. *American Journal of Physics, 55* (8), 691-705.

Gunstone, R. F. e White, R. T. (1981). Understanding of gravity. *Science Education, 65* (3), 291-299.

Hake, R. R. (1987). Promoting student crossover to the Newtonian world. *American Journal of Physics, 55* (10), 880-883.

Halloun, I. A. e Hestenes, D. (1985a). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics, 53* (11), 1056-1064.

Halloun, I. A. e Hestenes, D. (1985b). The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics, 53* (11), 1043-1055.

Halloun, I. A. e Hestenes, D. (1987). Modeling instruction in mechanics. *American Journal of Physics, 55* (5), 455-462.

Hayes, J. R. (1980). Teaching problem-solving mechanisms. In D. T. Tuma e F. Reif (Eds.). *Problem solving and education.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Hayes, J. R. (1987). *The complete problem solver.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Head, J. (1989). The affective constraints on learning science. In P. Adey et al. (Eds.). *Adolescent development and school science.* Londres: The Falmer Press.

Heller, J. I. e Reif, F. (1984). Prescribing effective human problem solving processes: problem description in physics. *Cognition and Instruction, 1* (2), 177-216.

Hernandez, L. M. e Hudson, M. C. (1986). Un enfoque sistemático de resolución de problemas en química: ayuda realmente a los estudiantes?. *Investigación Educacional, 13* (8), 13-29.

Hestenes, D. (1979). Wherefore a science of teaching?. *The Physics Teacher, 17,* Abril, 235-242.

Hestenes, D. (1987). Toward a modelling theory of physics instruction. *American Journal of Physics, 55* (5), 440-454.

Hewitt, P. G. (1983). Millikan lecture 1982: the missing essential — a conceptual understanding of physics. *American Journal of Physics, 51* (4), 305-311.

Hewitt, P. G. (1990). Conceptually speaking... . *The Science Teacher, 57* (5), 54-57.

Hewson, P. W. (1981). A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education, 3* (4), 383-396.

Hewson, P. W. (1985). Epistemological commitments in the learning of science: examples from dynamics. *European Journal of Science Education, 7* (2), 63-172.

Hewson, P. W. e Hewson, M. G. (1984). Effect of instruction using students' prior knowledge and conceptual strategies on science learning. *European Journal of Science Education, 6* (1), 1-6.

Hill, C. (1979). *Problem-solving: Learning and teaching. An annoted bibliography.* Londres: Francis Pinter.

Hills, G. (1994). What are the needs of our post-16 students?. *Education in Science, 157,* 8-9.

Hirst, P. e Peters, J. (1970). *The logic of education.* Londres: Routledge and Kegan Paul.

Hitchcok, G. e Hughes, D. (1989). *Research and the teacher.* Londres: Routledge.

Hoc, J. (1984). La verbalisation provoquée pour l'étude du fonctionnement cognitif. *Psychologie Française, 29* (3/4), 231-234.

Hodson, D. (1985). Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education, 12,* 25-37.

Hodson, D. e Reid, D. (1988). Changing priorities in science education. *School Science Review, 70* (250), 101-108.

Hofstein, A. e Kempa, R. F. (1985). Motivating strategies in science education: attempt at an analysis. *European Journal of Science Education, 7* (3), 221-229.

Holt, J. (1982). *How children fail.* Londres: Penguin Books.

Hopkins, K. e Stanley, J. (1981). *Educational and psychological measurement and evaluation* (6.ª ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Huberman, A. e Miles, M. (1991). *Analyse des données qualitatives.* Bruxelas: Boeck--Wesmael.

Hudson, H. T. e Liberman, D. (1982). The combined effects of mathematical skills and formal operational reasoning on student performance in the general physics course. *American Journal of Physics, 50* (12), 1117-1119.

Inhelder, B. e Piaget, J. (1961). *The growth of logical thinking from childhood to adolescence* . Nova Iorque: Basic Books.

Jacob, E. (1987). Qualitative traditions: a review. *Review of Educational Research, 57* (1), 1-50.

Jagger, J. M. (1985). A review of the research into the learning of mechanics. In A. Orton, *Studies in mechanics learning.* Leeds: Centre for Studies in Science and Mathematics Education.

Jesuíno, J. (1989). O método experimental em ciências sociais. In A. S. Silva e J. M. Pinto (orgs.). *Metodologia das ciências sociais* (3.ª ed.). Porto: Edições Afrontamento.

Johnson-Laird, P. N. (1983). Thinking as a skill. In J. Evans (Ed.). *Thinking and reasoning.* Londres: Routledge and Kegan Paul.

Jones, A. (1983). Investigation of students' understanding of space, velocity and acceleration. *Research in Science Education, 13,* 95-104.

Jung, W. (1985). Uses of cognitive science to science education. *Paper presented to the ATEE Symposium on the Implications of Cognitive Science for the Education of Science Teachers,* Kiel, Agosto.

Kagan, J. et al. (1964). Information processing in the child: significance of analytic and reflective attitudes. *Psychological Monographs: General and Applied, 8* (1).

Kahney, H. (1986). *Problem solving — A cognitive approach.* Milton Keynes: Open University Press.

Kant, E. (1988). *Prolegómenos a toda a metafísica futura.* Lisboa: Edições 70. (Tradução do original alemão *Prolegomena zu einer jeden künftigen metaphysik..*)

Kant, E. (1989). *Crítica da razão pura* (2.ª ed.). Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. (Tradução do original alemão *Kritik der Reinen Vernunft.*)

Karplus, R. (1979a). Proportional reasoning and control of variables in seven countries. In J. Lochhead e J. Clement (Eds.). *Cognitive process instruction.* Filadélfia: The Franklin Institute Press.

Karplus, R. (1979b). Proprtional reasoning in the People's Republic of China: a pilot study. In J. Lochhead e J. Clement (Eds.). *Cognitive process instruction.* Filadélfia: The Franklin Institute Press.

Karplus, R. (1981). Educational aspects of the structure of physics. *American Journal of Physics, 49* (3), 248-241.

Karplus, R., Karplus, E., Formisano, M. e Paulsen, A. (1977). A survey of proportional reasoning and control of variables in seven countries. *Journal of Research in Science Teaching, 14* (5), 411-417.

Karplus, R., Pulos, S. e Stage, E. K. (1983). Proportional reasoning of early adolescents. In R. Lesh e M. Landau (Eds.). *Acquisition of mathematics concepts and processes.* Orlando, Florida: Academic Press.

Keighley, H., McKim, F. R., Clark, A. e Harrison, M. J. (1986). *Mastering physics* (3.ª ed.). Londres: MacMillan.

Kelly, G. A. (1963). *A theory of personality: the psychology of personal constructs.* Nova Iorque: Norton.

Kelly, G. A. (1991). *The psychology of personal constructs. Volume one: A theory of personality.* Londres:Routledge.

Kempa, R. F. e Nicholls, C. E. (1983). Problem-solving ability and cognitive structure — an exploratory investigation. *European Journal of Science Education, 5* (2), 171-184.

Kirkham, J. (1989). Balanced science: equilibrium between context, process, and content. In J. Wellington (Ed.). *Skills and processes in scence education.* Londres: Routledge.

Kogan, N. e Saarni, C. (1989). Cognitive styles in children: some evolving trends. *Early Child Development and Care, 43,* 101-128.

Koyré, A. (1973). *Études d'histoire de la pensée scientifique.* Paris: Gallimard.

Koyré, A. (1986). *Galileu e Platão.* Lisboa: Gradiva. (Tradução do original francês.)

Koyré, A. (1992). *Estudos galilaicos.* Lisboa: Publicações Dom Quixote. (Tradução do original francês.)

Kramers-Pals, H. e Pilot, A. (1982). Recurrent difficulties: solving quantitative problems. *Journal of Chemical Education, 59* (6), 509-513.

Kramers-Pals, H. e Pilot, A. (1990). Solving quantitative problems: guidelines for teaching derived from research. *International Journal of Science Education, 10* (5), 511-521.

Kramers-Pals, H., Lambrechts, J. e Wolff, P. J. (1983). The transformation of quantitative problems to standard problems in general chemistry. *European Journal of Science Education, 5* (3), 275-287.

Kuhn, T. S. (1970a). Logic of discovery or psychology of discovery ?. In I. Lakatos e A. Musgrave (Eds.). *Criticism and the growth of knowledge.* Cambridge: Cambridge University Press.

Kuhn, T. S. (1970b). *The structure of scientific revolutions* (2.ª ed.). Chicago: Chicago University Press.

Lakatos, I. (1974). Falsification and the methodology of scientific research programmes. In I. Lakatos e A. Musgrave (Eds.). *Criticism and the growth of knowledge.* Cambridge: Cambridge University Press.

Larkin, J. H. (1981a). Cognition of learning physics. *American Journal of Physics, 49,* (6), 534-542.

Larkin, J. H. (1981b). Enriching formal knowledge: a model for learning to solve textbook physics problems. In J. Anderson (Ed.). *Cognitive skills and their acquisition.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Larkin, J. H. , McDermott, J., Simon, D. P. e Simon, H. A. (1980b). Models of competence in solving physics problems. *Cognitive Science, 4,* 317-345.

Larkin, J. H. (1980). Teaching problem solving in physics: the psychological laboratory and the practical classroom. In D. T. Tuma, F. Reif (Eds.). *Problem solving and education.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Larkin, J. H. e Reif, F. (1979). Understanding and teaching problem-solving in physics. *European Journal of Science Education, 1* (2), 191-203.

Larkin, J. H., McDermott, J., Simon, D. P. e Simon, H. A. (1980a). Expert and novice performance in solving physics problems. *Science, 208* (4450), 1335-1342.

Larkin, J. H., Rainard, B. (1984). A research methodology for studying how people think. *Journal of Research in Science Teaching, 21* (3), 235-254.

Lawson, A. E. (1982). Formal reasoning, achievement and intelligence: an issue of importance. *Science Education, 66* (1), 77-83.

Lawson, A. E. (1985). A review of research on formal reasoning and scientific teaching. *Journal of Research in Science Teaching, 22* (7), 569-617.

Lawson, A. E. e Renner, J. W. (1975). Relationships of science subject matter and developmental levels of learners. *Journal of Research in Science Teaching, 12* (4), 347-358.

Leahey, T. (1982). *Historia de la psicologia.* Madrid: Editorial Debate. (Tradução do original inglês *A history of psychology — Main currents in psychological thought,* 1980.)

Lee, Okee (1991). Motivation to learn subject matter content: the case of science. *Paper presented at the Annual Meeting of the AERA.*

Lester, F. K. Jr. (1980). A procedure for studying the cognitive processes during problem solving. *Journal of Experimental Education, 48* (4), 323-327.

Liberman, D. e Hudson, H. T. (1979). Correlation between logical abilities and success in physics. *American Journal of Physics, 47* (9), 784-786.

Lijnse, P. L. et al. (1990). A thematic physics curriculum: a balance between contradictory forces. *Science Education, 74* (1), 95-103.

Lind, G. (1980). Models in physics: some pedagogical reflections based on the history of science. *European Journal of Science Education, 7* (2).

Lovell, K. (1961). A follow-up study of Inhelder and Piaget's *The Growth of Logical Thinking. British Journal of Psychology, 52* (2), 143-153.

Luria, A. R. (1985). *Lenguage y pensamiento.* Barcelona: Ediciones Martínez Roca. (Tradução do original russo.)

Mach, E. (1919). *The science of mechanics* (4.ª ed.). Chicago: The Open Court Publishing.

Mahan, L. A. (1957). What is the problem solving method of teaching?. *Science Education, 51* (4), 332-342.

Maloney, D. P. (1985). Rule-governed physics: some novice predictions. *European Journal of Science Education, 7,* (3), 295-306.

Maloney, D. P. (1990). Forces as interactions. *The Physics Teacher, 28* (6), 386-390.

Martin Díaz, M. J. e Kempa, R. F. (1991). Los alumnos prefieren diferentes estrategias didácticas de la enseñanza de las ciencias en función de sus características motivacionales. *Enseñanza de las Ciencias, 9* (1), 59-68.

Marzano, R. et al. (1988). *Dimensions of thinking: A framework for curriculum and instruction.* Alexandria, USA: The Association for Supervision and Curriculum Development.

Matthews, M. R. (1992). History, philosophy, and science teaching: the present rapprochement. *Science & Education, 1,* 11-47.

Mayer, R. E. (1986). *Pensamiento, resolución de problemas y cognición.* Barcelona: Editorial Paidós. (Tradução do original inglês *Thinking, problem solving, cognition,* 1983.)

McCleland, D. C. (1989). *Estudio de la motivación humana.* Madrid: Narcea. (Tradução do original inglês *Human motivation.*)

McClelland, J. A. (1984). Alternative frameworks: interpretation of evidence. *European Journal of Science Education, 6* (1), 1-6.

McCombs, B. (1991). Metacognition and motivation for higher-level thinking. *Paper presented at the Annual Meeting of the A.E.R.A.* Chicago, Abril.

McDermott, L. C. (1984). Research in conceptual understanding of mechanics. *Physics Today, 37,* 23-32.

McGaw, B. (1984). Acquisition of expertise in problem solving. *Australian Educational Researcher,* 11 (4), 7-26.

McGuiness, C. e Nisbet, J. (1991). Teaching thinking in Europe. *British Journal of Educational Psychology, 61,* 174-186.

Messer, S. B. (1970). The effect of anxiety over intellectual performance on reflection--impulsivity in children. *Child Development, 41,* 723-735.

Messick, S. (1969). Metric properties of the semantic differential. In J. Snider e C. Osgood (Eds.). *Semantic differential technique.* Chicago: Aldine.

Messick, S. (1978). Personality consistencies in cognition and creativity. In S. Messick et al. (Eds.). *Individuality in learning.* São Francisco: Jossey-Bass Publishers.

Messick, S. (1982). Cognitive styles in educational practice. *Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association,* Nova Iorque.

Mestre, J. P. et al. (1993). Promoting skilled problem-solving behavior among beginning physics students. *Journal of Research in Science Teaching, 30* (3), 303-317.

Mettes, C. T. (1985). Factual and procedural knowledge: learning to solve science problems. *Paper presented at the First European Conference on Learning and Instruction,* Lovaina, Bélgica.

Mettes, C. T., Pilot, A. E. Roossink, H. J. (1981). Linking factual and procedural knowledge in solving science problems: a case study in hermodynamics. *Instructional Science, 10,* 333-361.

Mettes, C. T., Pilot, A., Roossink, H. J., e Kramers-Pals, H. (1980). Teaching and learning problem solving in science (Part I: a general strategy). *Journal of Chemical Education, 57* (12), 882-885.

Mettes, C. T., Pilot, A., Roossink, H. J., Kramers-Pals, H. (1981). Teaching and learning problem solving in science (Part II: learning problem solving in a thermodynamics course). *Journal of Chemical Education, 58* (1), 51-55.

Miller, A. (1985). Cognitive styles and environmental problem solving. *Environmental Studies, 26,* 21-31.

Miller, A. (1987). Cognitive styles: an integrated model. *Educational Psychology, 7* (4), 251-266.

Miller, G. A (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *The Psychological Review, 63* (2), 81-97.

Miller, R. L. (1980). Ausubelian psychology — help for learning difficulties. *Physics Education, 15,* 186-190.

Minstrell, J. (1982). Explaining the "at rest" condition of an object. *The Physics Teacher, 20,* 10-14.

Mohapatra, J. K. (1987). Can problem-solving in physics give an indication of pupils' process knowledge?. *International Journal of Science Education, 9* (1), 117-123.

Morais, M. M. (1988). *Pensar sobre o pensar: ensino de estratégias metacognitivas para a recuperação de alunos com dificuldades na compreensão da leitura na disciplina de Português.* Tese de Mestrado sob a Orientação da Prof.ª M. O. Valente. Universidade de Lisboa. Lisboa: Projecto Dianoia.

Morin, L. e Brunet, L. (1992). *Philosophie de l'éducation — 1. Les sciences de l' éducation.* Bruxelas: De Boeck-Wesmael.

Neto, A. J. e Almeida, M. (1990). Conhecimento, lógicas de organização e rendimento escolar. *O Professor, 12* (3.ª Série), 40-51.

Newell, A. (1980). One final word. In D. T. Tuma, F. Reif (Eds.). *Problem solving and education.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Newell, A. e Simon H. A. (1972). *Human problem solving.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Newmann, F. M. (1988). Can depth replace coverage in the high school curriculum?. *Phi Delta Kappan, 69* (5), Janeiro, 345-350.

Niaz, M. (1988a). Manipulation of M demand of chemistry problems and its effects on student performance: a neo-Piagetian study. *Journal of Research in Science Teaching, 25* (8), 643-657.

Niaz, M. (1988b). The information-processing demand of chemistry problems and its relation to Pascual-Leone's functional M-capacity. *International Journal of Science Education, 10* (2), 231-238.

Niaz, M. (1988c). The relationship between M-demand, algorithms, and problem solving: a neo-Piagetian analysis. *Journal of Chemical Education, 66* (5), 422-424.

Nickerson, R., Perkins, D. N. e Smith, E. (1985). *The teaching of thinking.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Nieto, J. E. (1985). Motivacion y aprendizaje. In J. Mayor (Ed.). *Psicologia de la educacion.* Madrid: Anaya.

Nisbet, J. e Entwistle, N. (1970). *Educational research mehods.* Londres: Hodder and Stoughton.

Novais, A. (1989). *Estratégias metacognitivas no desenvolvimento das capacidades básicas de pensamento envolvidas na resolução de resolução de problemas.* Tese de Mestrado sob a Orientação da Prof.ª M. O. Valente. Universidade de Lisboa. Lisboa: Projecto Dianoia.

Novais, A. e Cruz, N. (1987). O ensino das ciências e o desenvolvimento das capacidades metacognitivas. In M. O. Valente et al. (Eds.). *Aprender a pensar.* Lisboa: Departamento de Educação da FCUL, Projecto *Dianoia* .

Novak, J. D. (1977a). *A theory of education.* Ithaca, NY: Cornell University Press.

Novak, J. D. (1977b). An alternative to Piagetian psychology for science and mathematics education. *Science Education, 61* (4), 453-477.

Novak, J. D. (1982). *Teoría e práctica de la educación.* Madrid: Alianza Universidad.

Novak, J. D. (1987). Human constructivism: towards a unity of psychological and epistemological meaning making. *Second International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics Education.* Ithaca, NY: Cornell University.

Novak, J. D. (1988). Learning science and the science of learning. *Studies in Science Education, 15,* 77-101.

Novak, J. D. (1989). The use of metacognitive tools to facilitate meaningful learning. In P. Adey et al. (Eds.). *Adolescent development and school science.* Londres: The Falmer Press.

Novak, J. D. (1990). Concept mapping: a useful tool for science education. *Journal of Research in Science Teaching, 27* (10), 937-949.

Novak, J. D. e Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn.* Cambridge: Cambridge University Press.

Nóvoa, A. (1991). As ciências da educação e os processos de mudança. In A. Nóvoa et al.. *Ciências da educação e mudança.* Porto: Sociedade Portuguesa de Ciências da Educação.

Osborne, J. e Freeman, J. (1989). *Teaching physics: A guide for the non-specialist.* Cambridge: Cambridge University Press.

Osborne, R. e Freyberg, P. (Eds.) (1985). *Learning in science: The implications of children's science.* Londres: Heinemann.

Osborne, R. J. (1990). Sacred cows in physics — towards a redefinition of physics education. *Physics Education, 25,* 189-196.

Osborne, R. J. e Wittrock (1983). Learning science: a generative process. *Science Education, 67* (4), 489-508.

Osgood, C. e Suci, G. (1969). Factor analysis of meaning. In J. Snider e C. Osgood (Eds.). *Semantic differential technique.* Chicago: Aldine.

Osgood, C., Suci, G. E e Tannenbaum, P. (1969). The measurement of meaning. In J. Snider e C. Osgood (Eds.). *Semantic differential technique.* Chicago: Aldine.

Padilla, M. J., Okey, J. R. e Dillashaw, F. G. (1983). The relationship between science process skill and formal thinking abilities. *Journal of Research in Science Teaching, 20* (3), 239-246.

Pankratius, J. W. (1990). Building an organized knowledge base: concept mapping and achievement in secondary school physics. *Journal of Research in Science Teaching,* 27 (4), 315-333.

Patrício, M. F. (1983). *Teoria da educação.* Évora: Edição da A.E.U.E.

Patrício, M. F. (1988). *A formação de professores à luz da Lei de Bases do Sistema Educativo.* Lisboa: Texto Editora.

Peltzer, A. (1988). The intelectual factors believed by physicists to be most important to physics students. *Journal of Research in Science Teaching, 25* (9), 721-731.

Perkins, D. N. e Salomon, G. (1988). Teaching for transfer. *Educational Leadership, 46* (1), 22-32.

Perkins, D. N. e Salomon, G. (1989). Are cognitive skills context-bound?. *Educational Researcher.* 16-25.

Peters, P. C. (1982). Even honors students have conceptual difficulties with physics. *American Journal of Physics, 50* (6), 501-508.

Phillips, D. (1981). Post-Kuhnian reflections on educational research. In J. Soltis (Ed.). *Philosophy of education.* Chicago, Illinois: University of Chicago Press.

Phillips, D. C. (1987). *Philosophy, science and social inquiry.* Oxford: Pergamon Press.

Piaget, J. (1964). Cognitive development in children: development and learning. *Journal of Research in Science Teaching, 2,* 176-186.

Piaget, J. (1969). *The child's conception of time.* Londres: Routledge and Kegan Paul.

Piaget, J. (1970). *The child's conception of motion and speed.* Londres: Routledge and Kegan Paul.

Piaget, J. (1976). *The grasp of consciousness.* Londres: Routledge and Kegan Paul.

Piaget, J. (1986). Commentaires sur les remarques crtitiques de Vygotsky. In B. Schneuwly e J. P. Bronckart (Eds.). *Vygotsky aujourd'hui.* Paris: Delachaux et Niestlé.

Piaget, J. (1987). *Psicogénese e história das ciências.* Lisboa: Publicações Dom Quixote. (Tradução do original francês *Psychogenèse et histoire des sciences,* 1983)

Piaget, J. (1990). *Seis estudos de psicologia.* Lisboa: Publicações Dom Quixote. (Tradução do original francês *Six études de psychologie,* 1973)

Piaget, J. e Inhelder, B. (1993). *A psicologia da criança.* Porto: Edições ASA. (Tradução do original francês *La psychologie de l'enfant,* 1966.)

Pines, A. L. e West, L. H. (1986). Conceptual understanding and science learning: an interpretation of research within a sources-of-knowledge framework. *Science Education, 70* (5), 583-604.

Pitt, R. B. (1983). Development of a general problem-solving schema in adolescence and early adulthood. *Journal of Experimental Psychology: General, 112* (4), 547-584.

Pizzini, E. et al. (1989). A rationale for and the development of a problem solving model of instruction in science education. *Science Education, 73* (5), 523-534.

Polya, G. (1973). *How to solve it* (2.ª ed.). Hillsdale, NJ: Princeton University Press.

Polya, G. (1981). *Mathematical discovery: on understanding, learning and teaching problem solving.* Nova Iorque: John Wiley and Sons.

Poméz Ruiz, J. (1991). La metodologia de resolución de problemas y el desarrollo cognitivo: un punto de vista pospiagetiano. *Ensenãnza de las Ciencias, 9* (1), 78-82.

Pope, M. e Watts, M. (1988). Constructivist goggles: implications for process in teaching and learning physics. *European Journal of Physics, 9,* 101-09.

Popper, K. (1975). *Conhecimento objectivo.* Belo Horizonte: Editora Itatiaia. (Tradução da edição inglesa de 1973)

Popper, K. R. e Lorenz, K. (1990). *O futuro está aberto* (2.ª ed.). Lisboa: Editorial Fragmentos. (Tradução do original alemão.)

Posner, G. J. et al. (1982). Accomodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education, 66* (2), 211-227.

Power, C. (1976). Competing paradigms in science education research. *Journal of Research in Science Teaching, 13* (6), 579-587.

Preece, P. F. W. (1984). Intuitive science: learned or triggered?. *European Journal of Science Education, 6* (1), 7-10.

Prigogine, I. e Stengers, I. (1987). *A nova aliança.* Lisboa: Gradiva. (Tradução da 2.ª edição do original francês publicado em 1986)

Rancourt, R. (1985). Brain dominance and psycho-epistemic dominance of special education and computer education teachers. *Comunicação apresentada no V Seminário Internacional sobre Formação de Professores,* Aveiro, Universidade de Aveiro.

Raths, L. E. et al. (1977). *Ensinar a pensar.* São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária. (Tradução do original americano *Teaching for thinking: theory and application,* 1976.)

Reif, F. (1983a). How can chemists teach problem solving: suggestions derived from studies of cognitive processes. *Journal of Chemical Education, 60* (11), 948-953.

Reif, F. (1983b). Understanding and teaching problem-solving in Physics. In *Research on Physics Education: Proceedings of the First Seminar.* Paris: Edition du Centre National de la Récherche Scientifique.

Reif, F. (1981). Teaching problem-solving: a scientific approach. *The Physics Teacher,* Maio, 310-316.

Reif, F. (1985). Acquiring an effective understanding of scientific concepts. In H. T. West e A. L. Pines (Eds.). *Cognitive structure and conceptual change.* Orlando, USA: Academic Press.

Reif, F. e Heller, J. I. (1982). Knowledge structure and problem solving in physics. *Educational Psychologist, 17* (2), 102-127.

Reif, F., Larkin, J. H. e Brackett, G. C. (1976). Teaching general learning and problem--solving skills. *American Journal of Physics, 44* (3), 212-217.

Renner, J. W. (1986). Significant physics content and intellectual development. *Physics Education, 11,* 458-462.

Renner, J. W. and Grant, R. M. (1978). Can students grasp physics concepts?. *The Science Teacher,* Outubro, 30-33.

Resnick, L. B. (1983). Mathematics and science learning: a new conception. *Science, 220* (4596), 477-478.

Resnick, L. B. (1989). *Education and learning to think.* Washington, DC: National Academy Press.

Reynolds, R. E. e Wade, S. E. (1986). Thinking about thinking about thinking: reflections on metacognition. *Harvard Educational Review, 56* (3), 307-317.

Riba, C. (1992). Marco de referencia de la investigación educativa en tanto que disciplina social. In J. Rué (Ed.). *Investigar para inovar en educación.* Barcelona: Institut de Ciències de l'Éducació — Universität Autònoma de Barcelona.

Ribes, D. (1989). Pluralismo teórico y límites de la ciencia. In P. Feyerabend. *Limites de la ciencia.* Barcelona: Paidós / I.C.E. — U.A.B.

Richard, J. (1984). La construction de la représentation du problème. *Psychologie Française, 29* (3/4), 226-230.

Rieber, R. W. e Cartoon A. S. (Eds.) (1987). *The collected works of Lev Vygotsky: Volume 1 — Problems of general psychology.* Nova Iorque: Plenum Press.

Rivers, R. H. e Vockel, E. (1987). Computer simulations to stimulate scientific problem solving. *Journal of Research in Science Teaching, 24* (5), 403-415.

Rivière, A. (1988). *A Psicologia de Vygotski* (3.ª ed.). Madrid: Visor.

Robertson, W. W. e Richardson, E. (1975). The development of some physical science concepts in secondary school students. *Journal of Research in Science Teaching, 12* (4), 319-329.

Robinson, E. (1983). Metacognitive development. In S. Meadow (Ed). *Developing thinking.* Londres: Methuen.

Rogers, C. (1985). *Tornar-se pessoa* (7.ª ed.). Lisboa: Moraes Editores. (Tradução do original americano *On becoming a person,* 1961.)

Rollins, H. A. e Genser, L. (1977). Role of cognitive style in a cognitive task: a case favoring the impulsive approach to problem solving. *Journal of Educational Psychology, 69* (3), 281-287.

Ronning, R. R., Mccurdy, D. e Ballinger, R. (1984). Individual differences: a third component in problem solving instruction. *Journal of Research in Science Teaching, 21* (1), 71-82.

Ropper, T. (1985). Students' understanding of selected mechanics concepts. In A. Orton, *Studies in mechanics learning.* Leeds: Centre for Studies in Science and Mathematics Education.

Rosenquist, M. L. e Mcdermott, L. C. (1987). A conceptual approach to teaching mechanics. *American Journal of Physics, 55* (5), 407-414.

Roth, W. M. (1990). Short-term memory and problem solving in physical science. *School Science and Mathematics, 90* (4), 271-282.

Rowell, J. A. (1984). Many paths to knowledge: Piaget and science education. *Studies in Science Education, 13,* 105-122.

Rowell, J. A. e Dawson, C. J. (1979). Skill integration, Piaget and education. *Studies in Science Education, 6,* 45-68.

Rubinstein, M. F. (1975). *Patterns of problem solving.* Englewood Cliffs, USA: Prentice-Hall.

Saarni, C. I. (1973). Piagetian operations and field independence as factors in children's problem-solving performance. *Child Development, 44,* 338-345.

Salema, M. H. (1988). *Aprender a pensar: a metacognição na composição escrita.* Tese de Mestrado sob a Orientação da Prof.ª M. O. Valente. Universidade de Lisboa. Lisboa: Projecto Dianoia.

Salomon, G. e Globerson, T. (1987). Skill may not be enough: the role of mindfulness in learning and transfer. *International Journal of Educational Research, 11* (6), 623--637.

Salomon, G. e Perkins D. N. (1989). Rocky roads to transfer: rethinking mechanisms of a neglected phenomenon. *Educational Psychologist , 24* (2), 113-142.

Saltiel, E. (1987). Qu' apprend-on d'une comparaison entre raisonnements spontanes des élèves et modèles physiques anciens?. In M. Sequeira, L. Leite e M. Freitas (Eds.). *Actas do I Encontro Sobre Educação em Ciências.* Braga: Universidade do Minho.

Saltiel, E. e Malgrange, J. L. (1980). "Spontaneous" ways of reasoning in elementary kinematics. *European Journal of Physics, 1*, 73-80.

Santos, B. S. (1990). *Introdução a uma ciência pós-moderna* (2.ª ed.). Porto: Edições Afrontamento.

Santos, M E. (1991). *Mudança conceptual na sala de aula: um desafio pedagógico.* Lisboa: Livros Horizonte.

Satterly, D. J. (1979). Covariation of cognitive style, intelligence and achievement. *British Journal of Educational Psychology, 49,* 179-181.

Satterly, D. J. e Brimer, M. A. (1971). Cognitive styles and school learning. *British Journal of Educational Psychology, 41,* 294-303.

Sayre, S. e Ball, D. W. (1975). Piagetian cognitive level and achievement in science. *Journal of Research in Science Teaching, 12* (2), 165-174.

Schibeci, R. (1984). Attitudes to science: an update. *Studies in Science Education, 11,* 26-59.

Schmeck, R. R. (1983). Learning styles of college students. In R. F. Dillon e R. R. Schmeck (Eds.). *Individual diferences in cognition* (Vol. 1). Nova Iorque: Academic Press.

Schmeck, R. R. (1988). An introduction to strategies and styles of learning. In R. S. Schmeck (Ed.). *Learning strategies and learning styles.* Nova Iorque: Plenum Press.

Schneuwly, B. e Bronckart, J. P. (Eds.) (1985). *Vygotsky aujourd'hui.* Paris: Delachaux e Niestlé.

Schoenfeld, A. H. (1979). Can heuristics be taught?. In J. Lochhead e J. Clement (Eds.). *Cognitive process instruction.* Filadélfia: The Franklin Institute Press.

Schoenfeld, A. H. (1989). Teaching mathematical thinking and problem solving. In L. Resnick e L. Klopfer (Eds.). *Toward the thinking curriculum: current cognitive research.* Washington DC: Association for Supervision and Curriculum Development.

Sequeira, M. (1981). Padrões de raciocínio em alunos portugueses: implicações para o curriculum e ensino das ciências na escola secundária. *Aprendizagem e Desenvolvimento, 1* (3), 39-50 .

Sequeira, M. e Leite, L. (1991). Alternative conceptions and history of science in physics teacher education. *Science Education, 75* (1), 45-56.

Shapere, D. (1974). *Galileo, a philosophical study.* Chicago: The University of Chicago Press.

Shaw, T. J. (1983). The effect of a process-oriented science curriculum upon problem--solving ability. *Science Education, 67* (5), 615-623.

Shayer, M. (1978). The analysis of science curricula for Piagetian level of demand. *Studies in Science Education, 5,* 115-130.

Shayer, M., Adey, P. (1981). *Towards a science of science teaching.* Londres: Heineman Educational Books.

Shuell, T. J. (1987). Cognitive psychology and conceptual change: implications for teaching science. *Science Education, 71* (2), 239-250.

Siegler, R. S. (1978b). The origins of scientific knowledge. In R. S. Siegler (ed.). *Children's thinking: What develops?.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Siegler, R. S. (Ed.) (1978a). *Children's thinking: What develops?*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Siegler, R. S. e Richard, D. (1979). Development of time, speed, and distance concepts. *Developmental Psychology, 15* (3), 288-298.

Sigel, S. (1981). *Estatística não-paramétrica para as ciências do comportamento.* São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil Lda. (Tradução do original inglês *Nonparametric statistic for the behavioral sciences,* 1956.)

Simon, D. P. e Simon, H. A. (1978). Individual differences in solving physics problems. In R. S. Siegler (Ed.). *Children's thinking: What develops* ?. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Simon, H. A. (1980). Problem solving and education. In R. S. Siegler (Ed.). *Children's thinking: What develops* ?. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Sinkavich, F. J. (1991). Metamemory, study strategies, and attributional style: cognitive processes in classroom learning. *Paper presented at the Annual Meeting of the A.E.R.A.* Chicago: Abril 1991.

Snider J. e Osgood, C. (Eds.) (1969). *Semantic differential technique.* Chicago: Aldine

Sociedade Portuguesa de Física (1987). A SPF e o ensino da Física a nível secundário. *Gazeta de Física, 10* (1), 6-7.

Solomon, J. (1983). Is physics easy?. *Physics Education, 18,* 155-160.

Soltis, J. (Ed.) (1981). *Philosophy of education.* Chicago, Illinois: University of Chicago Press.

STATSOFT (1991). Manual do Programa CSS.

Steinberg, M., Brown, D. E. e Clement, J. (1990). Genius is not immune to persistent misconceptions: conceptual difficulties impeding Isaac Newton and contemporary physics students. *International Journal of Science Education, 12* (3), 265-273.

Stern, W. (1981). *Psicologia geral* (2.ª ed.). Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. (Tradução do original alemão, 1950)

Sternberg, R. J. (1985a). All's well that ends well, but it's a sad tale that begins at the end: a reply to Glaser. *American Psychologist, 40* (5), 571-573.

Sternberg, R. J. (1985b). *Beyond I Q* . Cambridge, Mass: Cambridge University Press.

Sternberg, R. J. (1985c). *Handbook of human intelligence.* Cambridge, Mass: Cambridge University Press.

Sternberg, R. J. (1985d). Reasoning, problem solving and intelligence. In R. J. Sternberg (Ed.). *Handbook of human intelligence.* Cambridge, Mass: Cambridge University Press.

Sternberg, R. J. (1986). *Intelligence applied.* San Diego: Harcourt, Bruce, Jovanovitch.

Sternberg, R. J. (1987). Pensamento crítico: sua natureza, medida e aperfeiçoamento. In M. O. Valente et al. (Eds.). *Aprender a pensar.* Lisboa: Departamento de Educação da FCUL, Projecto *Dianoia* .

Stewart, J. (1982). Two aspects of meaningful problem solving in science. *Science Education, 66* (5), 731-749 .

Stewart, J. (1983). Student problem solving in high school genetics. *Science Education, 67* (4), 523-540.

Stewart, J. e Van Kirk, J. (1990). Understanding and problem-solving in classical genetics. *International Journal of Science Education, 12* (5), 575-588.

Suchting, W. A. (1992). Constructivism deconstructed. *Science & Education, 1*, 223--254.

Thomaz, M. F. (1987). Uma perspectiva construtivista para o ensino da Física. I - "Psicologia da Construção Pessoal" de George Kelly. *Gazeta de Física, 10* (4), 121-128.

Thomaz, M. F. (1988). Uma perspectiva construtivista para o ensino da Física. II-Objectivos para o ensino da Física. *Gazeta de Física, 11* (1), 19-27.

Thomaz, M. F. e Vasconcelos, N. (1989). A introdução à mecânica no ensino secundário. *Gazeta de Física, 12* (1), 16-26.

Tobias, S. e Kaufman, C. (1991). Incentives and problem solving. *Paper presented at the Annual Meeting of the AERA.* Chicago, IL: Abril.

Torga, M. (1974). *Cântico do Homem* (4.ª ed.). Coimbra: Edição do Autor.

Toulmin, S. (1953). *The Philosophy of science.* Londres: Hutchinson's University Press.

Toulmin, S. (1972). *Human understanding.* Princeton, NJ: Princeton University Press.

Trindade, V. M. (1991). *Contributos para o estudo da atitude científica dos professores de "ciências".* Tese de Doutoramento não publicada, Universidade de Évora, Évora.

Trowbridge, D. E. e McDermott, L. C. (1980). Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension. *American Journal of Physics, 48* (2), 1020-1029.

Trowbridge, D. E. e McDermott, L. C. (1981). Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension. *American Journal of Physics, 49* (3), 242-253.

Tuckman, B. (1978). *Conducting educational research* (2.ª ed.). Nova Iorque: Harcourt Brace Jovanovich..

Tuma, D. T. e Reif, F. (Eds.) (1980). *Problem solving and education.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Urbano, J. N. (1987). O ensino da física em Portugal: problemas e perspectivas. *Gazeta de Física, 10* (1), 1-5.

Valente, M. e Neto (1992). El ordenador y su contribución a la superación de las dificuldades de aprendizaje en mecánica. *Enseñanza de las Ciencias, 10* (1), 80-85.

Valente, M. O. (1987). A teoria das múltiplas inteligências de Howard Gardner. In M. O. Valente et al. (Eds.). *Aprender a pensar.* Lisboa: Departamento de Educação da FCUL, Projecto Dianoia.

Valente, M. O., Gaspar, A., Lobo, A., Salema, M. H., Morais, M. M. e Cruz, M. N. (1989a). *Aprender a pensar: metacognição, bibliografia temática.* Lisboa: Departamento de Educação da FCUL, Projecto Dianoia.

Valente, M. O., Gaspar, A., Rainho, M. A., Salema, M. H., Santos, M. E., Morais, M. M. e Cruz, M. N. (1991a). *Programas para aprender a pensar.* Lisboa: Departamento de Educação da FCUL, Projecto Dianoia.

Valente, M. O., Gaspar, A., Salema, M. H., Morais, M. M. e Cruz, M. N. (1987). *Aprender a pensar.* Lisboa: Departamento de Educação da FCUL, Projecto Dianoia.

Valente, M. O., Neto, A. J. e Valente, M. (1989). Resolução de problemas em física: necessidade de uma ruptura com a didáctica tradicional. *Gazeta de Física, 12* (3), 70-78.

Valente, M. O., Salema, M. H., Morais, M. M. e Cruz, M. N. (1989b). A metacognição. *Revista de Educação, 1* (3), 47-50.

Valente, M. O., Santos, M. E., Rainho, M. A. e Salema, M. H. (1991b). Dianoia/Diálogos: um balanço de duas abordagens didácticas. In *Actas do 2.º Encontro Nacional de Didácticas e Metodologias de Ensino,* Universidade de Aveiro.

van Weeren, J. P., Mul, F. M. e Peters, M. J. (1982). Teaching problem-solving in physics: a course in electromagnetism. *American Journal of Physics, 50* (8), 725--732.

Vancourt, R. (1991). *Kant.* Lisboa: Edições 70. (Tradução do francês *Kant.*)

Vernon, P. E. (1972). The distinctiveness of field independence. *Journal of Personality, 40,* 366-391.

Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education, 1* (2), 205-221.

Viennot, L. e Kaminski, W. (1991). Participation des maîtres aux modes de raisonnement des élèves. *Enseñanza de las Ciencias, 9* (1), 3-9.

Von Glasersfeld, E. (1987). Constructivism in education. *Manuscrito para Publicação in The International Encyclopedia of Education.* (Oferta do autor.)

Von Glasersfeld, E. (1988). Introduction à un constructivisme radical. In P. Watzlawick. *L'invention de la réalité.* Paris: Éditions du Seuil. (Tradução do original alemão de 1981.)

Voss, J. F. (1983). Individual differences in the solving of social science problems. In R. F. Dillon e R. R. Schmeck (Eds.). *Individual differences in cognition* (Vol. 1). Nova Iorque: Academic Press.

Vygotsky, L. (1986a). *Thought and language.* Cambridge, Mass.: The MIT Press.

Vygotsky, L. (1986b). *Pensamiento y lenguage.* Buenos Aires: Editorial la Pléyade. (Tradução do original russo.)

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society — The development of higher psychological processes* (Edited by M. Cole et al.). Cambridge, Mass: Harvard University Press.

Vygotsky, L.S. (1979). *El desarollo de los processos psicológicos superiores.* Barcelona: Editorial Crítica. (Tradução da obra em inglês *Mind in society — The development of higher psychological processes,* 1978.)

Wardell, D. M. e Royce, J. R. (1977). Toward a multi-factor theory of styles and their relationships to cognition and affect. *Journal of Personality, 46,* 474-505.

Warren, J. (1979). *Understanding force.* Londres: Butterworths.

Watts, D. M. e Zylbersztajn, A. (1981). A survey of some children's ideas about force. *Physics Education, 15,* 360-365.

Watts, M. (1982). Gravity — don't take it for granted. *Physics Education, 17,* 116-121.

Watts, M. (1983). A study of schoolchildren's alternative frameworks of the concept of force. *European Journal of Science Education, 5* (2), 217-230.

Watts, M. (1991). *The science of problem-solving - A practical guide for science teachers.* Londres: Cassell Educational.

Watts, M. e Pope, M. (1989). Thinking about thinking, learning about learning: constructivism in physics education. *Physics Education, 24,* 326-331.

Weinert, F. E. (1987). Introduction and overview: metacognition and motivation as determinants of effective learning and understanding. In F. E. Weinert e R. H. Kluwe, (Eds.). *Metacognition, motivation and understanding.* Hillsdale, NJ: Lawrence, Erlbaum Associates.

Weinert, F. E. e Kluwe, R. H. (Eds.) (1987). *Metacognition, motivation and understanding*. Hillsdale, NJ: Lawrence, Erlbaum Associates.

Wertheimer, M. (1968). *Productive thinking* (2.ª ed.). Londres: Tavistock Publications.

West, L. H. T. e Pines, A. L. (Eds.) (1985). *Cognitive structure and conceptual change.* Orlando, USA: Academic Press.

Wheatley, G. H. (1991). Constructivist perspectives on science and mathematics learning. *Science Education, 75* (1), 9-21.

Whimbey, A. (1984). Students can learn to be better problem-solvers. *Educational Leadership, 37* (7), 560-565.

Whimbey, A. e L. S. Whimbey (1975). *Intelligence can be taught.* Nova Iorque: E. P. Dutton and Co.

Whimbey, A. e Lochhead, J. (1986). *Problem solving and comprehension* (4.ª ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Whitaker, M. A. B. (1980). Kuhn's paradigm, and example-based teaching of Newtonian mechanics. *European Journal of Science Education, 2* (2), 145-153.

Whitaker, R. J. (1983). Aristotle is not dead: student understandings of trajectory motion. *American Journal of Physics, 51* (4), 352-357.

White, B. (1983). Sources of difficulty in understanding Newtonian dynamics. *Cognitive Science, 7,* 41-65.

White, R.T. (1985). Interview protocols and dimensions of cognitive structure. In H. T. West e A. L. Pines (Eds.). *Cognitive structure and conceptual change.* Orlando, Fl: Academic Press.

Whitehead, A. N. (1970). *The aims of education, and other essays* (2.ª ed.). Londres: Ernest Benn Limited.

Wickelgren, W. A. (1974). *How to solve problems.* Nova Iorque: W. H. Freeman and Company.

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

Wilson, V. L. (1990). Methodological limitations for the use of expert systems techniques in science education research. *Journal of Research in Science Teaching, 27* (1), 69-77.

Witkin, H. A. (1978). Cognitive style in academic performance and in teacher-student relations. In S. Messick et al. (Eds.). *Individuality in learning.* São Francisco: Jossey Bass Publishers. (pp. 38-72)

Witkin, H. A. e Goodenough, D.R. (1991). *Estilos cognitivos: naturaleza y origenes* (2.ª ed.). Madrid: Ediciones Pirámide. (Tradução do original inglês *Cognitive styles: essence and origins,* 1981.)

Witkin, H. A., Moore, C. C., Goodenough, D. R. e Cox, P. W. (1977a). Field--dependent and field-independent cognitive styles and their educational implications. *Review of Educational Research, 47* (1), 1-64.

Witkin, H. A., Oltman, P. K., Goodenough, D. R. e Raskin, E. (1977b). Role of the field-dependent and field-independent cognitive styles in academic evolution: a longitudinal study. *Journal of Educational Psychology, 69* (3), 197-211.

Wood, D. (1988). *How children think and learn.* Oxford: Blackwell.

Yager, R. E. (1986a). What kind of school science leads to college success?. *The Science Teacher, 53,* 22-25.

Yager, R. E. (1986b). What's wrong with school science?. *The Science Teacher,* 145--147.

Yager, R. E. (1988). Achieving useful science: reforming the reforms of the '60s. *Educational Leadership, 46* (1), 53-54.

Yussen, S. R. (1985). The role of metacognition in contemporary theories of cognitive development. In D. L. Forrest-Pressley, G. E. Mackinnon e T. G. Waller (Eds.). *Metacognition, cognition and human performance* (Vol. 1). Orlando, Florida: Academic Press.

Ziman, J. (1981). *Puzzles, problems and enigmas.* Cambridge: Cambridge University Press.