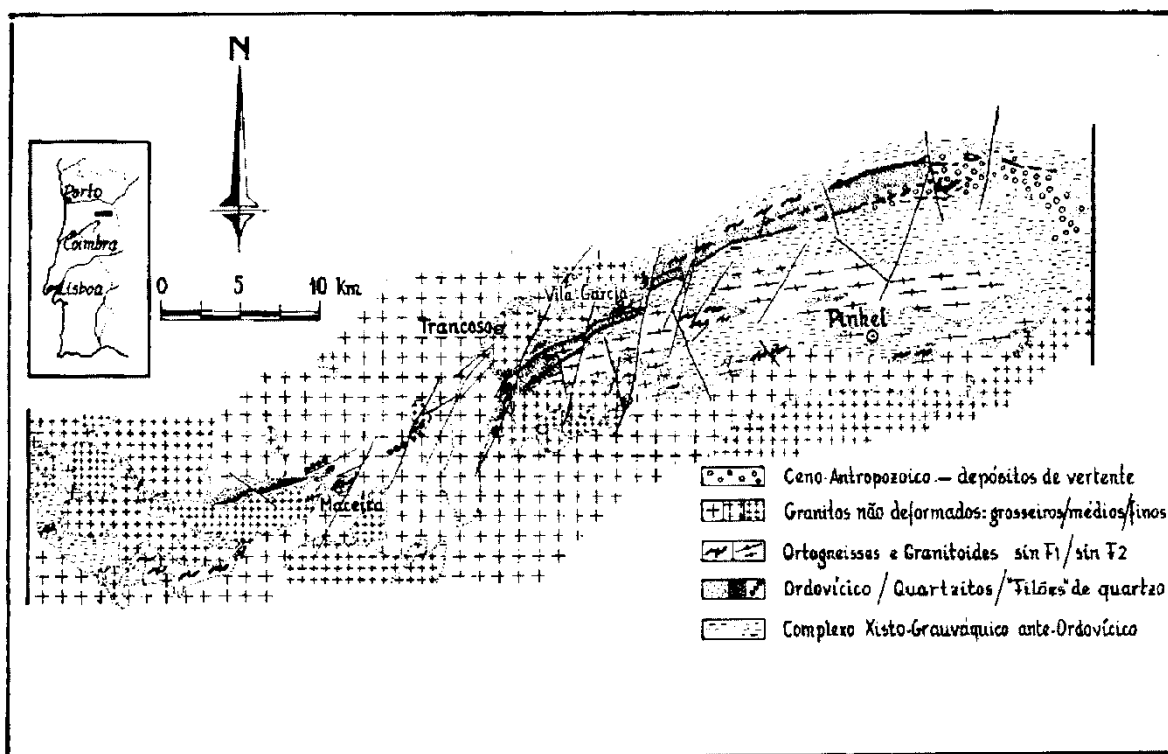


## CAPÍTULO VII – ANÁLISE ESTRUTURAL



Regêncio e Portugal (1981)

*"La importancia de la esquistosidad en Geología Estructural  
es muy grande"*

*F. Bastida, 1981*

## 1. INTRODUÇÃO

Atendendo que na região de Figueira de Castelo Rodrigo se observa com bastante clareza e com uma extensão considerável o contacto entre o Complexo Anatéctico de Figueira de Castelo Rodrigo-Lumbrals (CAFCL) e as unidades do Supergrupo Dúrico-Beirão e do Ordovícico em baixo grau metamórfico, considerou-se este um dos locais de interesse para tentar compreender não só de que forma é feito esse contacto, mas também a provável evolução geodinâmica do referido acidente; com efeito, só assim será possível perceber os novos dados de petrologia e geoquímica obtidos numa perspectiva dinâmica. Regionalmente, uma estrutura de grande importância tinha sido identificada como Zona de Cisalhamento de Juzbado-Penalva de Castelo (ZCJPC) sendo uma estrutura que, embora no geral esteja bem estudada e compreendida, em determinados sectores, como o em análise, careciam de um estudo mais detalhado. Além disso, esta zona de descontinuidade separa as unidades em diferente grau metamórfico, sendo evidente o seu papel como responsável da sua sobreposição. Nesse sentido, e tendo em consideração o traçado bastante irregular desta zona de cisalhamento, que no sector de Figueira de Castelo Rodrigo inflecte para uma direcção próxima de E-W, optou-se por realizar estudos em 5 sectores que se consideraram representativos da diversidade estrutural (Fig. 1). Deste modo, torna-se possível apresentar um modelo geométrico e cinemático para a generalidade da ZCJPC, que contribuirá para a elaboração de um modelo evolutivo.

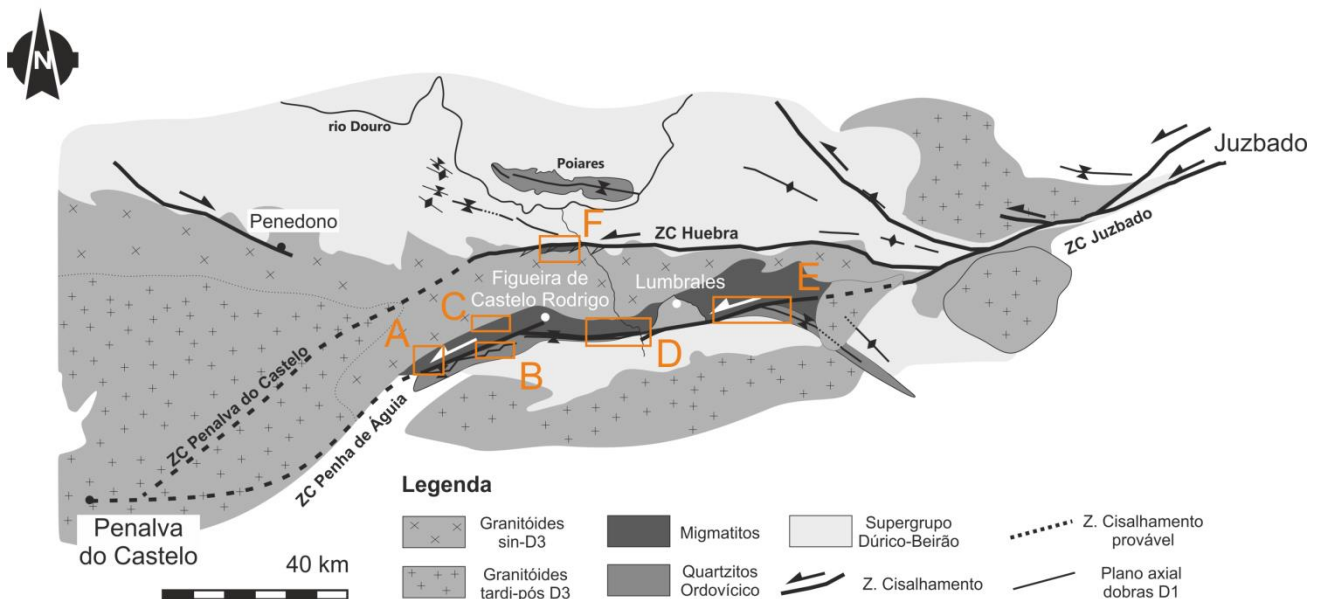


Fig. 1. Mapa geral das principais estruturas associadas ao CAFCL, com a localização dos subsectores A – Azêvo, B – Colmeal, C – Penha de Águia, D – Nave Redonda-Almofala, E – Olmedo de Camaces e F – Escalhão.

Não se pretendendo implementar um mapa estrutural de detalhe da região, o que caía fora dos objectivos propostos para este trabalho, esta análise focou-se essencialmente na recolha de dados referentes à estrutura nas unidades do Ordovícico ( $O_{PC}$  e  $O_{SA}$ ), embora ocasionalmente, tenham sido complementados com outros obtidos tanto nas unidades do Supergrupo Dúrico-Beirão como na unidade migmatítica e nos granitos. À cartografia de base utilizada, como as cartas geológicas

15-A, 15-B, 15-C, 15-D e MAGNA 475, e a Carta Geológica Simplificada do Parque Arqueológico Vale do Côa, mais recente, realizou-se uma compilação de fotografias de satélite através do Google Earth, que combinadas serviram para elaborar o mapa estrutural, tendo-se corrigido a posição das unidades quartzíticas em relação à original (Mapa Estrutural, ANEXO I).

## 2. SECTOR AZÊVO

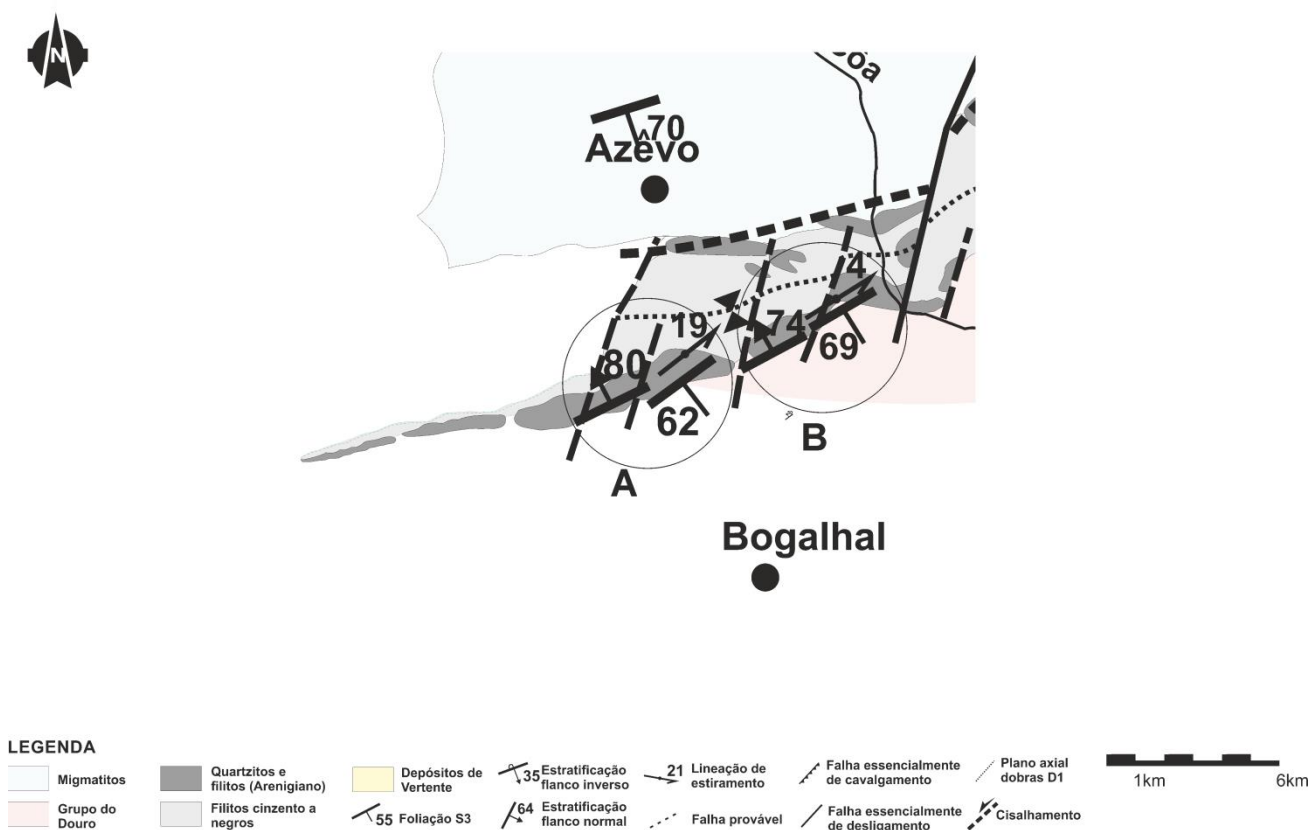


Figura 2. Mapa estrutural do sector Azêvo da região de Figueira de Castelo Rodrigo. Detalhe com os dados estruturais principais do sector em análise.

O sector do Azêvo, corresponde à extremidade Oeste do sinclinal da Marofa o qual pode ser seguido desde Figueira de Castelo Rodrigo. Com efeito, para SW deste sector o flanco norte desta macrodobra  $D_1$  (Meireles, 2010; Dias *et al*, 2013) encontra-se intersectado pela ZCJPC (LNEG, 2010). Do ponto de vista metamórfico, de Norte para Sul passa-se rapidamente de granitos a migmatitos e de migmatitos, primeiro para as unidades ordovícicas e finalmente para as formações do Grupo do Douro que, tal como acontece na generalidade dos sectores da Zona Centro-Ibérica do norte de Portugal, se encontram em baixo grau metamórfico (Ribeiro, 2001). No que diz respeito aos quartzitos, é importante referir que embora localmente apresentem alguma recristalização, é frequente encontrarem-se as estruturas sedimentares preservadas, bem como vestígios das estruturas associadas à primeira fase de deformação (*e.g.*  $S_1$ ). Este padrão mostra uma diminuição acentuada do grau metamórfico à medida que se caminha para Sul, isto é, com o afastamento da ZCJPC.

No que diz respeito à estrutura geral da região, esta é facilmente evidenciada pelo comportamento das bancadas quartzíticas da formação OPC que sobressaem na paisagem. Os estudos efectuados mostram que, do ponto de vista geométrico, existe um comportamento complexo que é essencialmente o resultado da interferência de 3 fases de deformação varisca. Esta sobreposição de eventos tectónicos origina uma dispersão das atitudes de  $S_0$  que, em termos de direcção variam de E-W a NE-SW; quanto às inclinações, no flanco sul da estrutura onde as estruturas primárias são mais visíveis, estas variam entre os cerca de  $60^\circ$ N com polaridade normal e os  $80^\circ$ S invertidos. Esta rotação é influenciada essencialmente pela actuação das falhas tardi-variscas NNE-SSW que provocam um arraste dúctil a dúctil-frágil nas suas proximidades que contrasta com o comportamento mais frágil que evidenciam na generalidade do autóctone da Zona Centro-Ibérica (Dias *et al.*, 2013); o arraste evidenciado (Fig. 2) é compatível com a cinemática esquerda que tem vindo a ser descrita para esta fase pela generalidade dos autores (ver Dias, *et al.*, 2013 para uma discussão). Uma rotação semelhante da atitude de  $S_0$  é provocada pela actuação de zonas de cisalhamento esquerdas ENE-WSW atribuíveis à  $D_3$  regional e que iremos abordar mais à frente. Este comportamento mostra que a atitude das estruturas  $D_1$  na região tem uma direcção próxima de E-W e não ENE-WSW como é frequentemente referido com base no padrão cartográfico a grande escala (Oliveira *et al.*, 1992; LNEG, 2010).

No que diz respeito à clivagem  $S_1$  esta é bem visível nos sectores mais xistentos das formações ordovícicas onde chega a transpor  $S_0$ , bem como nas formações do Grupo do Douro. De um modo geral, apresenta uma direcção também próxima de E-W e inclinações bastante variáveis devido à existência de refrações acentuadas bem como de dobramentos posteriores; contudo, no flanco sul do sinclinal, verifica-se que, de um modo geral, a relação  $S_0 \wedge S_1$  é compatível com o flanco sul do sinclinal da Marofa, evidenciando situações frequentes de flanco inverso com a estratificação a inclinar muito para S e a clivagem a inclinar menos no mesmo sentido. Nos sectores menos deformados pelas fases posteriores a lineação de intersecção  $S_0 \wedge S_1$  ( $L_1$ ) mergulha pouco ( $<15^\circ$ ) com sentidos de inclinação próximos da direcção E-W. Nos metassedimentos de baixo grau do Grupo do Douro (Fig. 3) é por vezes possível evidenciar a presença de uma lineação de estiramento que faz um ângulo elevado com a  $L_1$ , mostrando que o estiramento se faz próximo do eixo cinemático  $a$ , situação que é típica dos sectores meridionais da zona Centro-Ibérica (Ribeiro *et al.*, 1990; Dias e Ribeiro, 1994; 2013); este aspecto é particularmente importante pois sugere que a ZCJPC constitui a zona de fronteira entre estes dois domínios paleogeográficos e que por isso já estaria activa durante a  $D_1$  tal como é referido por alguns autores (Iglesias e Ribeiro, 1981; Dias *et al.*, 2013).

Nos sectores mais pelíticos do Grupo do Douro a clivagem  $S_1$  provoca por vezes rotura dos níveis centimétricos grauvacóides isolando as charneiras por laminação dos flancos (Fig. 3), o que num estágio mais avançado conduz à transposição da estratificação.

Muito localmente, os planos de  $S_1$  mergulhantes para Sul encontram-se dobrados, evidenciando geometria *down dip* e eixos mergulhantes menos de  $10^\circ$  e com sentidos de inclinações próximos de E-W (Fig. 4); por vezes chega a desenvolver-se uma clivagem fraca de plano axial destas dobras.

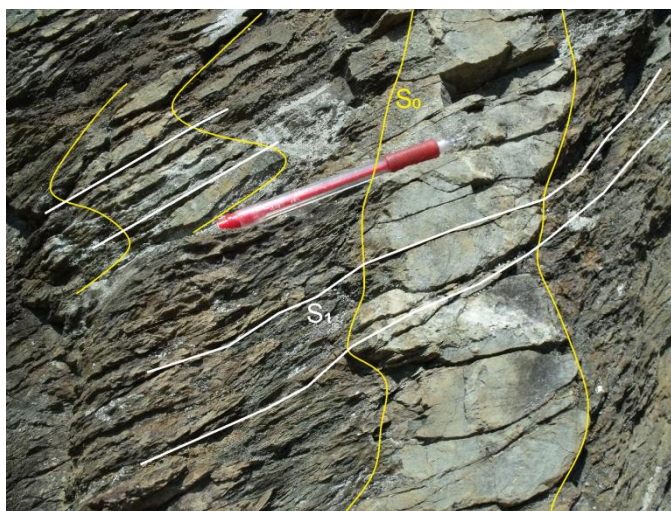


Figura 3. Inversão de flanco das dobras  $D_1$ , evidenciado pela relação  $S_1 - S_0$ ; detalhe da quase transposição de  $S_1$  e  $S_0$  nos níveis mais pelíticos.

O comportamento geométrico destas dobras, que também se vêem por vezes a afectar camadas centimétricas, dificilmente podem ser interpretadas no contexto do funcionamento esquerdo da ZCJPC durante a  $D_3$ . Contudo, os planos axiais muito pouco inclinados e a vergência *down dip*, torna possível serem consideradas dobras geradas durante a  $D_2$  regional extensiva (Dias *et al.*, 2013; Dias da Silva, 2013).

No que diz respeito ao desenvolvimento de estruturas que possam ser consideradas contemporâneas da  $D_3$  regional, é significativo o seu fraco desenvolvimento em todo o flanco sul do sinclinal da Marofa no sector de Azêvo. Apenas foram identificadas estruturas  $D_3$  nas zonas mais pelíticas da formação  $O_{PC}$  (Fig. 5). Tratam-se geralmente de zonas de cisalhamento dúcteis (Fig. 6) a dúcteis-frágeis (Fig. 7) com direcção  $N50^\circ E$  a  $N65^\circ E$  muito inclinada ( $>65^\circ$ ), quer para SE, quer para NW. A existência local de uma lineação milonítica muito pouco inclinada (sub-horizontal a  $<20^\circ$  para ENE) desenvolvida nas foliações da vizinhança destas zonas de cisalhamento, evidencia uma cinemática essencialmente do tipo desligamento; os indicadores cinemáticos (*e.g.* arraste da estratificação na vizinhança dos cisalhamentos; Figs. 6 e 7) mostra claramente movimentação esquerda. O facto destas zonas de cisalhamento serem subparalelas à ZCJPC e terem a mesma cinemática, leva-nos a considerá-las  $D_3$ . Na vizinhança destes cisalhamentos ocorre por vezes a *boudinagem* das camadas mais quartzíticas (Fig. 8) com os estrangulamentos dos *boudins* (*i.e.* os *necks*) muito inclinados ( $64^\circ$ ,  $S20^\circ E$ ) o que é compatível com a predominância do regime transcorrente  $D_3$ .

Como já foi referido, todas as estruturas que se acabaram de referir foram posteriormente afectadas em regime frágil a frágil-dúctil pela fase tardi-varisca que se materializa essencialmente pela ocorrência de falhas esquerdas NNE-SSW (Fig. 2) que provocam o arraste das estruturas anteriores na sua vizinhança.

A falta de estruturas/formações adequadas não permite evidenciar a existência na zona do Azêvo de deformação associada à fase de deformação alpina.



Figura 4.

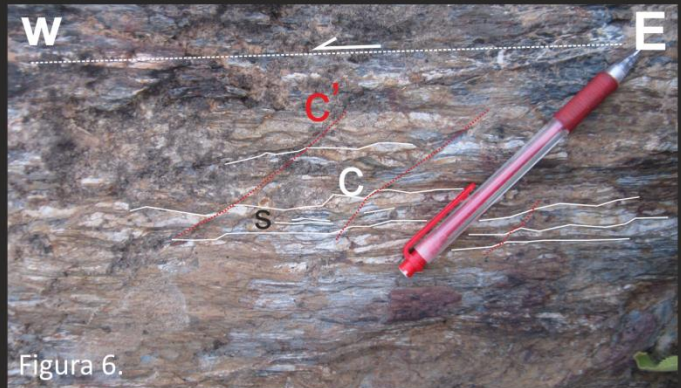


Figura 6.



Figura 7.



Figura 5.



Figura 8.

Figura 4. Forte crenulação da xistosidade  $S_1$ , resultando numa lineação de intersecção  $I_2$  quase sub-horizontal. Sector do Azêvo.

Figura 5. Dobras isoclinais apertadas associadas a uma foliação milonítica penetrativa.

Figura 6. Aspectos cinemáticos nas unidades mais filíticas, com o desenvolvimento de bandas  $c/s-c'$ , com cinemática esquerda. Sector do Azêvo.

Figura 7. Observação de aspectos cinemáticos a afectar os quartzitos mais filíticos, como o desenvolvimento de bandas  $c/s-c'$ , com cinemática esquerda. Sector do Azêvo.

Figura 8. *Necking* associado a *boudinage* dos leitos quartzíticos numa matriz filítica. Sector do Azêvo.

### 3. SECTOR COLMEAL

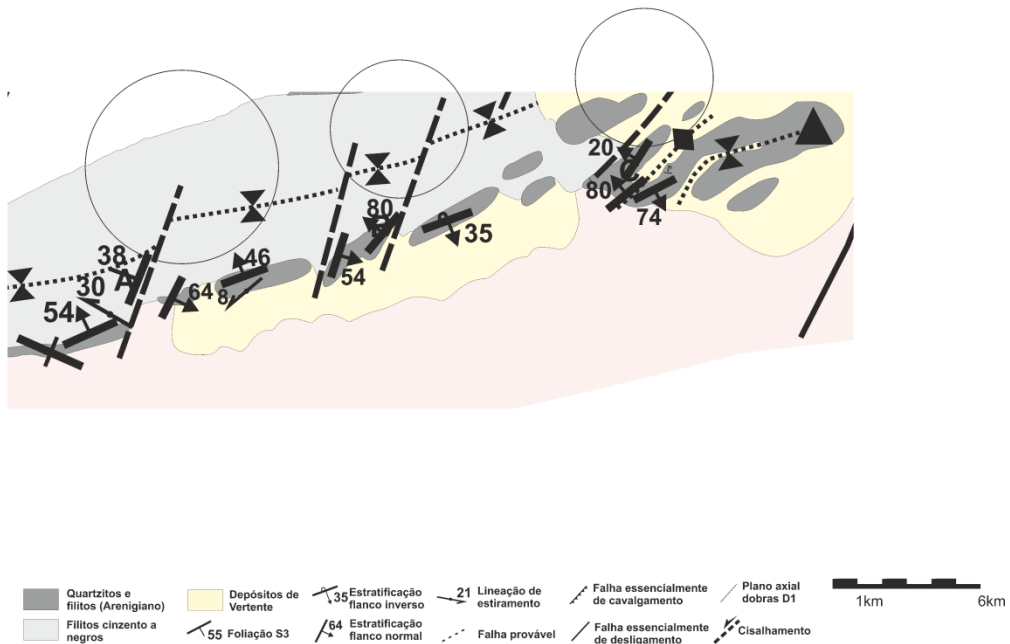


Figura 9. Mapa estrutural da área em estudo com o detalhe da estrutura no sector Colmeal, que se estende do rio Côa à Serra da Marofa.

Este sector corresponde à continuação oriental do sector Azêvo e constitui essencialmente o flanco Sul do sinclinal da Marofa (Fig. 9).

De um modo geral, a estrutura neste sector do flanco Sul indica um flanco segmentado pelos acidentes tardi-variscos (Fig. 9), muitas vezes com evidência de forte rotação, indicando um comportamento frágil-dúctil desta fase de deformação (Fig.9, subsector B). Mais a Oeste neste sector, o flanco ainda se apresenta normal, sendo que ao aproximar-se da Serra da Marofa torna-se invertido. Com base na presente cartografia, foi também possível destrinçar a estrutura na Serra da Marofa, que parece resultar da rotação de macrodobras  $D_1$  devido à cinemática esquerda de acidentes tardi-variscos (Fig. 9, subsector C); contudo, é aconselhável a realização de trabalhos complementares e de maior detalhe cartográfico para uma melhor caracterização da estrutura agora identificada.

No subsector A os níveis mais quartzíticos apresentam pouca ou nenhuma recristalização.  $S_0$  varia entre  $N68^{\circ}W$ ,  $sv$  a  $N64^{\circ}E$ ,  $54^{\circ}N$  e  $S_1$   $N80^{\circ}W$ ,  $42^{\circ}S$ . Observa-se uma intensa rede de diaclases  $N48^{\circ}E$ ,  $74^{\circ}NW$ . Ainda neste subsector, a Este, observa-se a rotação de  $S_0$  para  $N25^{\circ}E$ ,  $64^{\circ}E$ , pressupondo um acidente responsável por essa mesma rotação.

Com base nas estruturas primárias determinou-se que por vezes o flanco está invertido (Fig. 10), o que está de acordo com o que foi descrito para o sector de Azêvo; a macroestrutura complexa do sinclinal da Marofa, evidencia assim uma vergência regional para Norte. Observa-se também o desenvolvimento de dobras menores associadas a este flanco, com flancos  $N68^{\circ}E$ ,  $46^{\circ}N$  e  $N71^{\circ}E$ ,

34°S com amplitude de poucos metros, que é interpretado como influência da cinemática das falhas tardivariscas que são aqui importantes. Na superfície da estratificação, observa-se o desenvolvimento de uma lineação de estiramento ténue com inclinações entre 8° e 10° para SSW (entre S50°W e S28°W). Este estiramento, marcado pelo alongamento dos grãos de quartzo, que é frequente encontrar-se na superfície de estratificação dos quartzitos da zona de Figueira de Castelo Rodrigo, e que é mais evidente nos níveis mais recristalizados, é considerado tendo sido formado durante a D<sub>3</sub> regional (*i.e.* trata-se de um X<sub>3</sub>); esta atribuição é baseada essencialmente no padrão regional da sua distribuição.



Figura 10. Espessa bancada de quartzito com evidência de estruturas primárias, como estratificação e estratificação cruzada. Estas estruturas permitem identificar o topo da camada como estando em baixo, indicando inversão da camada.

No subsector B (Fig. 9) torna-se visível a clara rotação das bancadas quartzíticas dobradas para S<sub>0</sub> N16°E, 54°E e N38°E, 80°NW, pressupondo um grande acidente tardi-varisco.

Esta situação, mais a Este, dá lugar a um quartzito ligeiramente mais recristalizado e com S<sub>0</sub> N68°E, 35°S com um L<sub>1</sub> (S<sub>0</sub>^S<sub>1</sub>) associado 8°, S65°W.

No subsector C a estrutura do sinclinal é mais complexa, sendo a sua interpretação muitas vezes dificultada pela maior recristalização dos quartzitos, tornando difícil a distinção das estruturas associadas. A geometria e as estruturas identificadas em determinados pontos neste subsector permitiram delinear à escala cartográfica um antifórma com flancos N50°E, 80°N e N62°E, 74°S com lineação de intersecção L<sub>1</sub> (S<sub>0</sub>^S<sub>1</sub>) 12°, S58°W e 21°, S51°W, indicando que este dobramento corresponde à primeira fase de deformação D<sub>1</sub>, correspondendo a uma dobra menor do sinclinal principal (Fig. 9, subsector C). Mais ainda, neste subsector, foi possível observar as dobras associadas da D<sub>1</sub> (Fig. 11a), com o desenvolvimento de uma S<sub>1</sub> N74°E, 18°S, que são de difícil observação de um modo geral na Serra da Marofa, exactamente devido à forte recristalização associada à D<sub>3</sub>. Nas superfícies de estratificação, identificaram-se *skolithos* deformados (17°, N75°W; Fig. 11b) evidenciando uma cinemática esquerda importante reactivando as superfícies de estratificação.



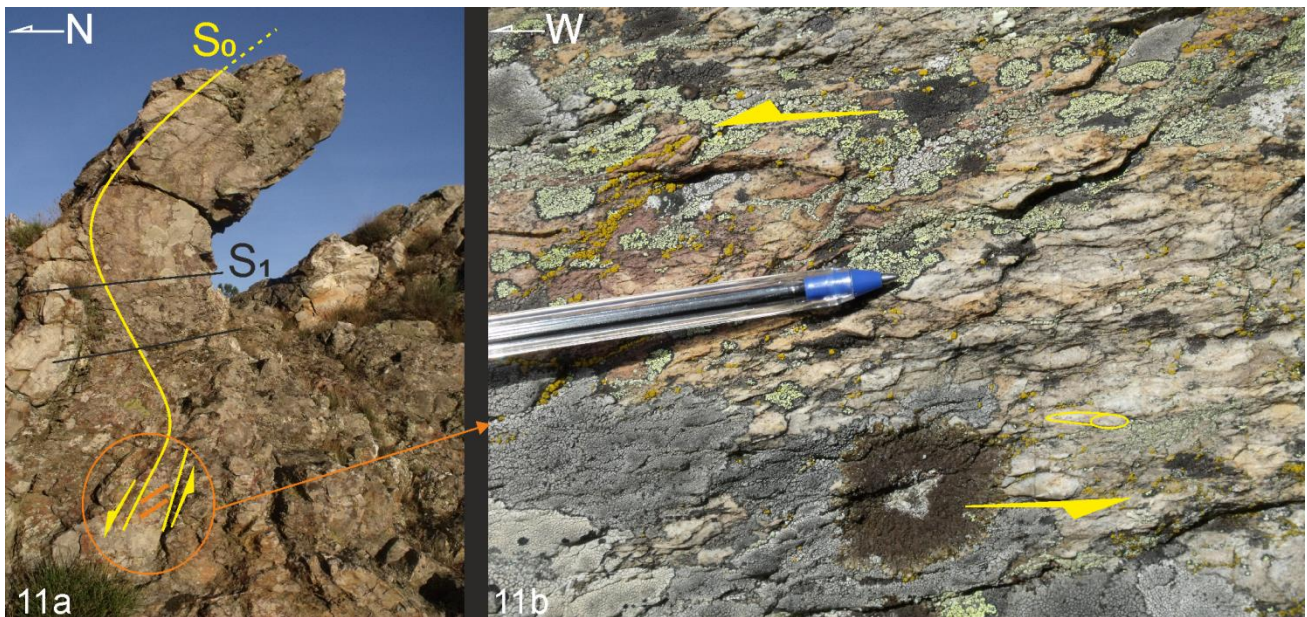


Figura 11. Observações de estruturas associadas à fase de deformação D1; a. dobras menores, com o desenvolvimento de uma foliação S1 pouco inclinada; b. Skolithos indicando movimentação sinistrógira associada a planos de cisalhamento D1 reactivando a estratificação.

Esta cinemática pode resultar de uma movimentação sinistrógira associada a cisalhamentos  $D_1$ , típico dos sectores setentrionais da ZCI (e.g. Dias *et al.*, 2013), ou associado à ZCJPC durante a  $D_3$ . Atendendo à menor recristalização e estruturas associadas à ZCJPC aqui observadas, bem como a preservação das estruturas da  $D_1$ , é mais provável este ser um cisalhamento esquerdo  $D_1$ .

#### 4. SECTOR PENHA DE ÁGUIA

O sector de Penha de Águia (Fig. 12) é fundamental para compreender a estrutura da Zona de Cisalhamento de Juzbado-Penalva do Castelo no sector de Figueira de Castelo Rodrigo. Com efeito, apesar dos afloramentos dos quartzitos do Ordovícico aqui existentes corresponderem ao flanco Norte do sinclinal da Marofa, a sua forte reactivação durante a  $D_3$  regional, provocou a transposição quase total das estruturas  $D_1$ . O predomínio das estruturas  $D_3$  é ainda acentuado pela recristalização muito intensa e generalizada das bancadas quartzíticas, que tendem a aparecer como massas de quartzo branco de grão muito fino no seio das quais se vêem por vezes "enclaves" de quartzitos não recristalizados (Fig. 13).

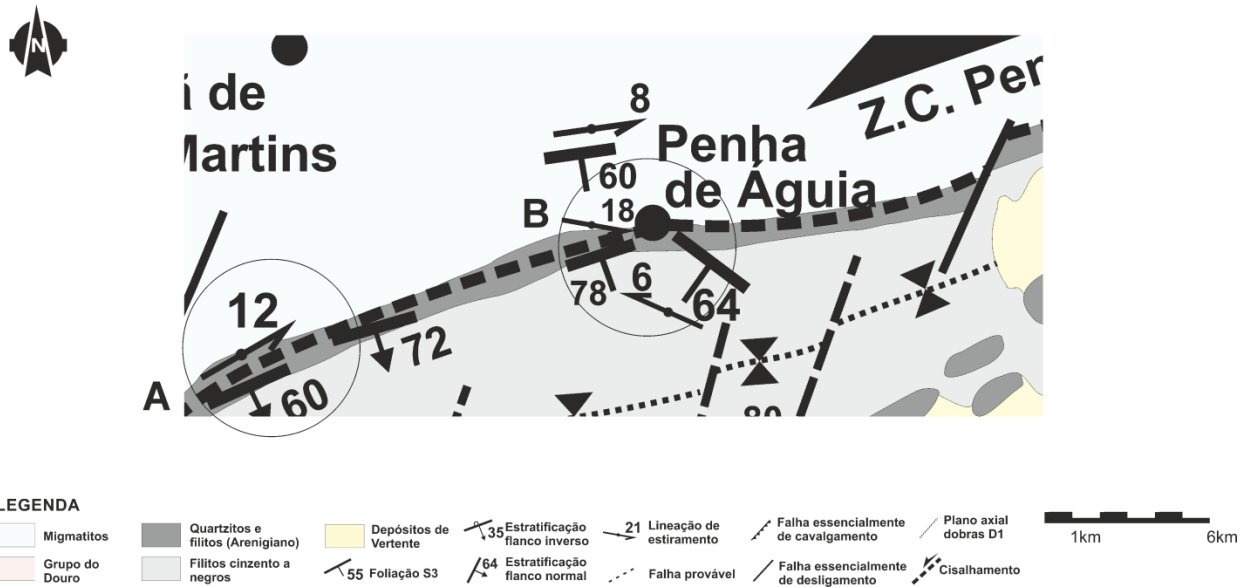


Figura 12. Mapa estrutural da área em estudo com o detalhe da estrutura no sector Penha de Águia.

Contudo, esta forte recristalização dos níveis quartzíticos, normalmente preserva a estratificação que continua a poder ser utilizada como superfície de referência para a interpretação da estrutura regional (Fig. 14).



Figura 13. Encaves de quartzito “restítico” numa massa de quartzito recristalizado.

Figura 14. Dobramento D1 onde se observa com clareza as superfícies de estratificação, apesar do elevado grau de recristalização.

No que diz respeito à génese desta recristalização, embora ela possa ser em parte acentuada pela proximidade aos granitos, a comparação com outros sectores da ZCI onde a recristalização é incipiente mesmo na proximidade das intrusões, sugere que a sua origem é essencialmente dinâmica associada ao funcionamento da ZCJPC (ver capítulo IV para mais detalhes).

A situação descrita anteriormente leva a que a caracterização da deformação  $D_1$  no sector de Penha de Águia seja de difícil interpretação, pois as estruturas observadas são essencialmente resultado da deformação  $D_3$  ou posteriores (*i.e.* tardi-varisca).

Quanto às estruturas  $D_3$  elas são extremamente variadas, em resultado não só da continuidade da deformação associada ao funcionamento da ZCJPC (*i.e.* deformação progressiva), mas também da heterogeneidade dos multileitos que sofreram deformação (Fig. 15).

Se a deformação  $D_3$  afectou sequências onde predominam bancadas de quartzitos decimétricas a métricas com leitos intercalados mais xistentos raros ou ausentes, verifica-se que esta é acomodada essencialmente pelo escorregamento entre bancadas o que acaba por gerar uma lineação de estiramento  $X_3$  muito bem marcada na superfície de estratificação (Fig. 15, A).

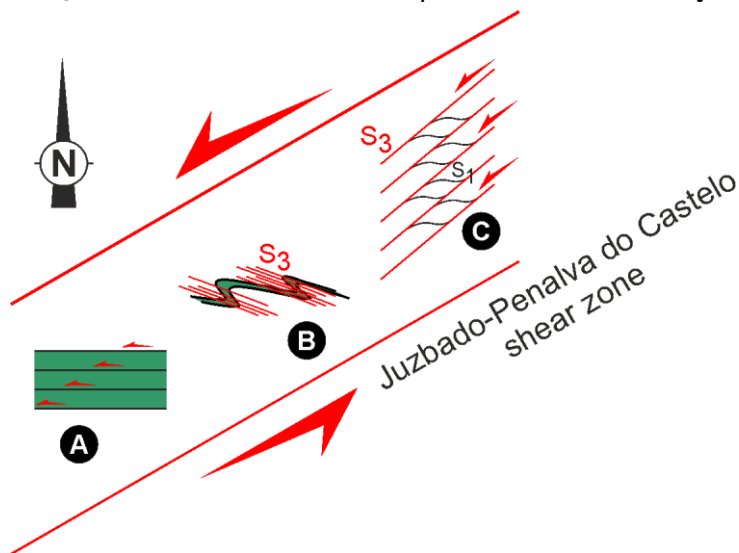


Figura 15. Esquema interpretativo das múltiplas variações de deformação associadas à mesma fase de deformação.

Quando as sequências são mais pelíticas e os leitos quartzíticos são centimétricos (*i.e.* espessuras inferiores a 10 ou 20 cm), verifica-se o escorregamento entre bancadas que acaba por induzir o forte dobramento dos leitos quartzíticos (Fig. 15, B), chegando a gerar dobras isoclinais, quase sempre com a génese de uma clivagem  $S_3$  de plano axial. A assimetria destas dobras permite evidenciar uma cinemática esquerda durante a  $D_3$ . Os eixos das dobras são geralmente muito inclinados (*i.e.* fazem um ângulo muito forte com o estiramento  $X_3$ ), o que seria de esperar num regime de deformação predominantemente transcorrente. Contudo, estes eixos apresentam uma dispersão muito acentuada, resultado do seu encurvamento durante a continuidade da deformação; esta variação dos eixos chega a gerar dobras em bainha (Fig. 18).

Finalmente quando as sequências são essencialmente pelíticas com bancadas milimétricas de quartzitos, gera-se uma clivagem  $S_3$  espaçada que evidencia uma componente de cisalhamento esquerda evidenciada pela distorção sigmóide dos leitos milimétricos (Figs. 15, C e 20).

Embora este comportamento heterogéneo durante a  $D_3$ , tenda a ser encontrada ao longo da faixa ordovícica que se estende por toda a crista da zona de Penha de Águia, evidentemente que apresenta pequenas variações locais. Tendo em consideração a qualidade dos afloramentos evidenciam-se 2 sub-sectoros.

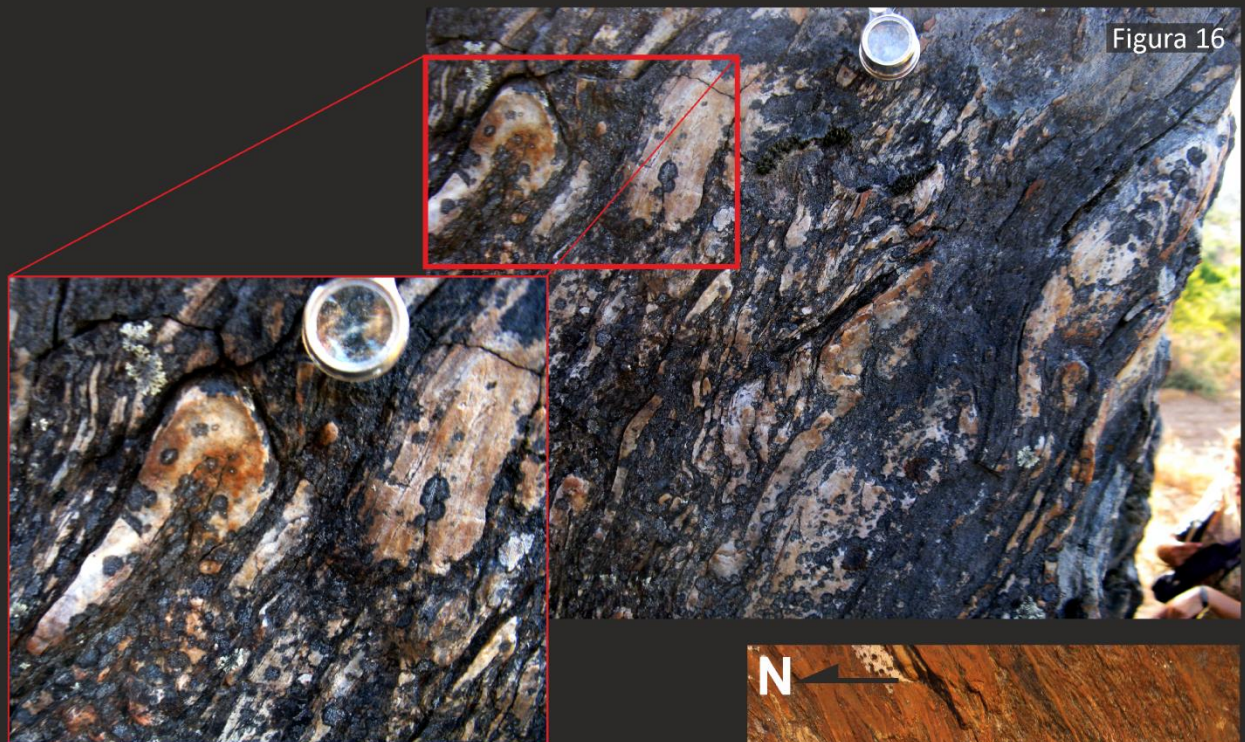


Figura 16



Figura 17

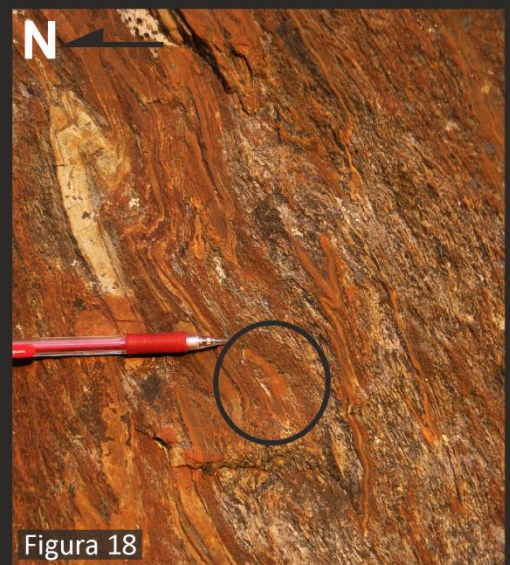


Figura 18

Figura 16. Foliação milonítica muito penetrativa, associada a dobramento de pequena amplitude. Sector de Penha de Água (Oeste). Detalhe do dobramento apertado dos níveis quartzíticos, numa matriz com um comportamento fluido.

Figura 17. Marcador cinemático sigmóide quartzoso com indicação de cinemática esquerda. Sector de Penha de Água (Oeste)

Figura 18. Dobramento associado à foliação milonítica, com o desenvolvimento de dobras em bainha, com transporte para Oeste. Sector de Penha de Água (Oeste)



Figura 20a



Figura 20b



Figura 21

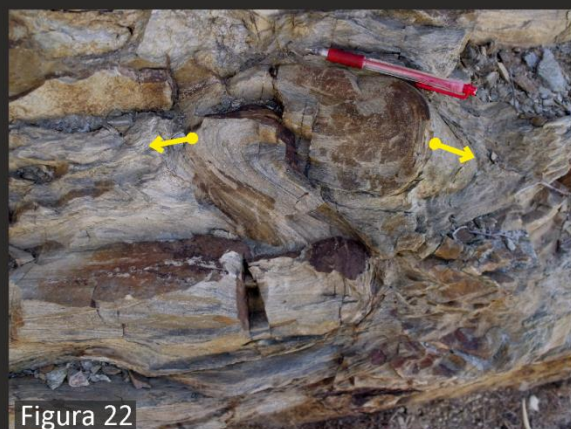


Figura 22



Figura 23



Figura 24

Figura 20. Clivagem de solução por pressão nas unidades quartzíticas; a. detalhe da clivagem; b. interpretação da clivagem a azul a rejeitar níveis de uma foliação anterior, marcados a amarelo. Sector de Penha de Águia.

Figura 21. Dobramento apertado na banda de cisalhamento, associado à foliação milonítica. Sector de Penha de Águia.

Figura 22. Eixos das dobras com mergulhos oscilantes, indicando dobramento de uma dobra anterior, sendo o segundo dobramento síncrono com o movimento cisalhante. Sector de Penha de Águia.

Figura 23. Foliação milonítica e lineação de estiramento associada, dobradas por uma crenulação de grande amplitude, possivelmente tardi-varisca. Sector de Penha de Águia.

Figura 24. Clivagem de crenulação a afectar a foliação milonítica, compatível com uma fase de deformação tardi-varisca. Sector de Penha de Águia.

No subsector A (Fig. 12) é possível observar uma foliação  $S_3$  N68E, 68°S a que se associa uma lineação de estiramento,  $X_3$  12°, N79E a 11°, S68W (Fig. 19). Aqui, a deformação é muito intensa, com o desenvolvimento de dobras em bainha, dobramento intenso e uma foliação que transpõe totalmente uma foliação anterior (Fig. 16 a 18).

No subsector B observam-se novamente diferentes estruturas associadas à zona de cisalhamento (Fig.19 a 22), sendo  $S_3$  N50E, 82°S a que se associa  $X_3$  15°, N70E.

Neste subsector, além da forte foliação milonítica, observa-se o desenvolvimento de uma suave crenulação desta foliação, com uma lineação de crenulação 64°, S30W (Fig. 23 e 24). Esta crenulação, atendendo à sua pequena penetratividade e geometria, poderá estar associada à fase tardi-varisca.

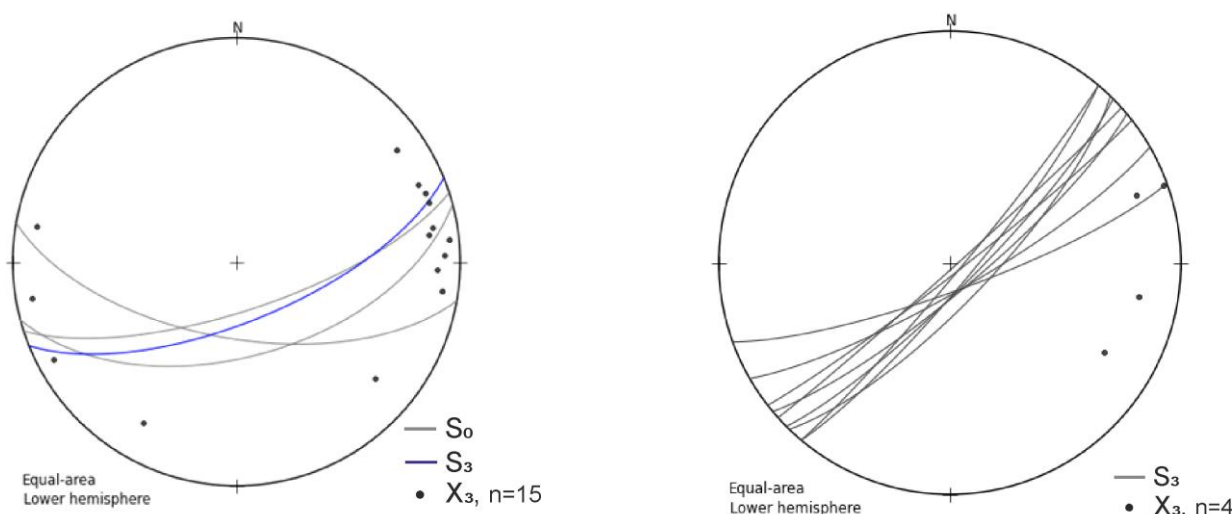


Figura 19. Projecção estereográfica em círculo de área igual; à esq. do subsector A, com estratificação transposta por  $S_3$ , a que se associa uma lineação de estiramento,  $X_3$ , ligeiramente mergulhante ora para Este ora para Oeste; à dta. do subsector B, com uma foliação  $S_3$  muito penetrativa a que se associa uma  $X_3$  mergulhante para Este.

## 5. Sector Nave Redonda - Almofala

Este sector caracteriza-se por uma inflexão nítida das estruturas gerais associadas à ZCJPC que passam aqui a apresentar uma orientação geral E-W (Fig. 25). A variabilidade de situações aqui observada, levou à individualização de três zonas com comportamentos cinemáticos distintos; o subsector A, afectado por uma estrutura tardia, o cavalgamento de Nave Redonda, o subsector B com estruturas associadas ao cavalgamento de Santa Bárbara, também proposto neste trabalho, e o subsector C, cuja cinemática é idêntica à do sector anterior (Penha de Águia), ainda que com uma deformação associada geralmente mais fraca e com um carácter que tende a ser mais frágil do que o observado no sector de Penha de Águia. A individualização destas zonas resulta não só da orientação geral das estruturas mas também das relações geométricas entre a lineação de estiramento  $X_3$  (visível na superfície de  $S_3$ , na superfície de  $S_0$  reactivada durante a terceira fase de deformação varisca regional ou em planos do tipo C) e as estruturas regionais (*i.e.* estratificação e cavalgamentos).

No entanto, apesar da variabilidade observada, uma constante deste sector é a ausência do flanco norte do sinclinal da Marofa; com efeito, a formação  $O_{PC}$  aflora como uma única barra quartzítica, com as camadas mergulhando moderada a fortemente para Sul ( $> 30^\circ$ ), com polaridade geralmente inversa. O flanco N do sinclinal da Marofa está por isso ausente, muito provável por ter sido laminado pelo cavalgamento de Santa Bárbara, que sobrepõe esta formação ao CAFCR-L (Fig. 25). No subsector A observam-se estruturas com uma geometria muito distinta da regional, ainda que devido à dispersão dos afloramentos de quartzito e à elevada recristalização observada em determinados pontos, tenha sido difícil observar o sinclinal. No lado mais a Este deste subsector, observa-se uma banda E-W, a que se associa ao flanco inverso do sinclinal da Marofa. Imediatamente junto ao cavalgamento de Nave Redonda, surge uma barra quartzítica, com geometria anómala (NW-SE), que se considera como resultado da inflexão do flanco normal junto ao acidente ou como correspondente a dobras menores retocadas pelo cavalgamento. Do lado Oeste, observaram-se claros critérios de flanco inverso.

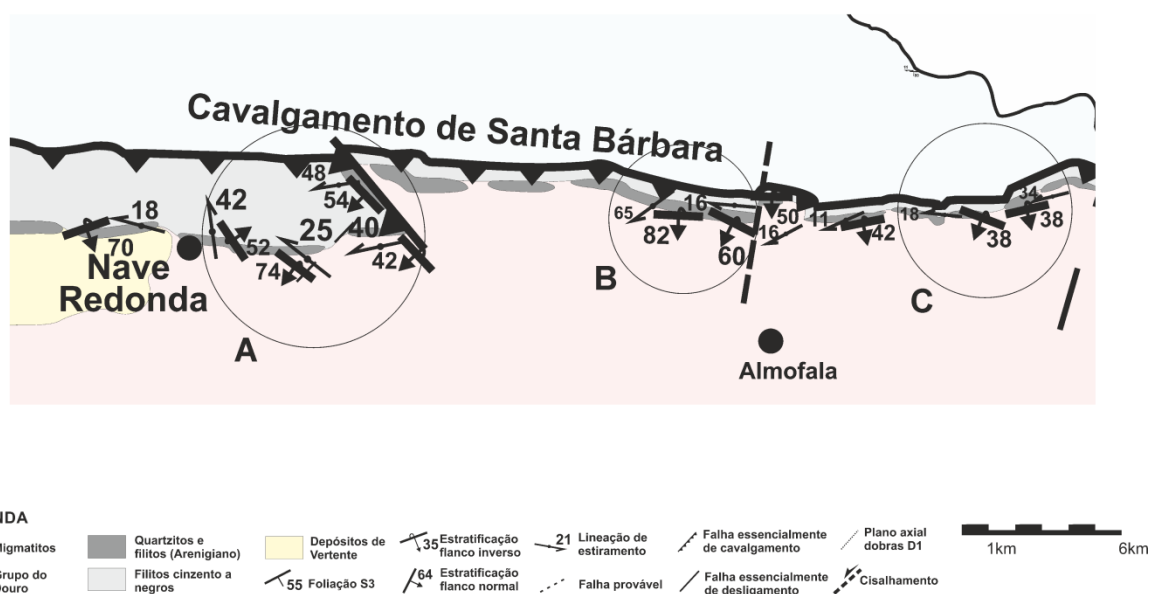


Figura 25. Mapa estrutural da área em estudo com o detalhe da estrutura no sector de Nave Redonda - Almofala.

Do ponto de vista geométrico das macro-estruturas variscas, o sub-sector A caracteriza-se por uma heterogeneidade (Fig. 25) claramente controlada pelos acidentes cavalgantes regionais (Santa Bárbara e Nave Redonda). Com efeito, a direcção E-W que predomina neste domínio (e com inclinações para Sul e SW e com polaridade normalmente inversa), torna-se NW-SE,  $40^\circ$ - $50^\circ$ SW (Fig. 26, esq.) e normal na vizinhança do cavalgamento de Nave Redonda, o que indica que esta atitude anómala é claramente o resultado da actuação deste acidente que tende a paralelizar a estrutura regional. Na vizinhança deste cavalgamento o estiramento  $X_3$  na superfície de  $S_0$  é quase subperpendicular à direcção o que indica uma cinemática predominantemente cavalgante, embora com uma ligeira componente esquerda. Este comportamento contrasta com a situação existente

longe do cavalgamento de Nave Redonda onde o estiramento tende a ser subparalelo à direcção de  $S_0$  demonstrando o predomínio da componente de desligamento.

A ausência de critérios cinemáticos dúcteis (Fig.27) e de uma foliação penetrativa associada a este acidente, indica que a movimentação terá decorrido num regime mais frágil a frágil-dúctil do que o encontrado no sector de Penha de Águia; isto indica que este cavalgamento será mais tardio em relação à movimentação principal da ZCJPC. No entanto, tendo em consideração que a movimentação cavalgante no cavalgamento de Nave Redondo é cinematicamente compatível com a movimentação esquerda regional ao longo da ZCJPC, considera-se que ele representará um estágio tardio da  $D_3$  regional.

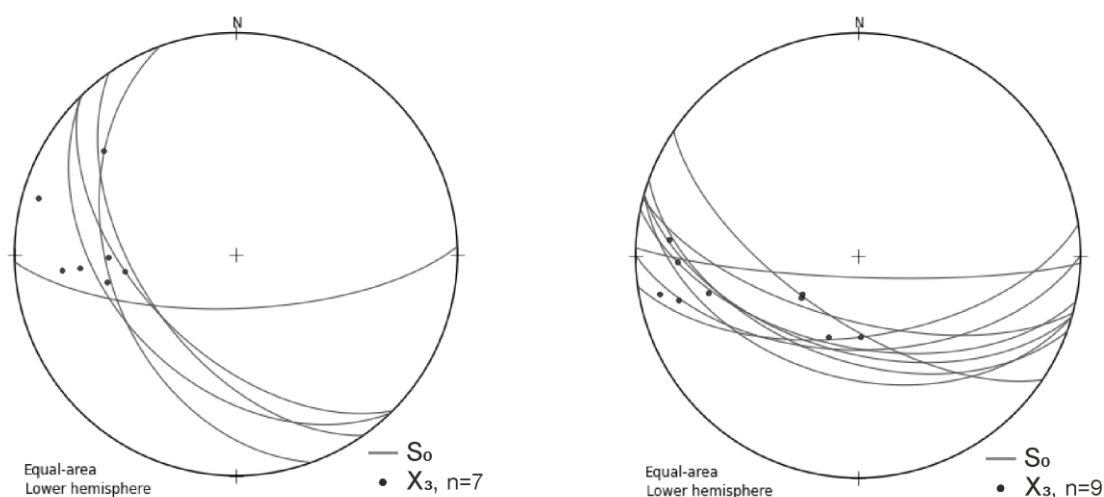


Figura 26. Projecção estereográfica em círculo de área igual; à esq. do subsector A, com estratificação NW-SE, a que se associa uma  $X_3$  bastante mergulhante para Oeste ou Noroeste; à dta. do subsector B, com uma estratificação E-W, a que se associa uma  $X_3$  ora bastante mergulhante para Oeste ora muito mergulhante para Sudoeste.

O subsector B é caracterizado por uma atitude geral da estratificação WNW-ESE a E-W e inclinações moderadas a fortes ( $60^\circ$  a  $80^\circ$ ) para Sul (Fig. 26, dta.) associadas a uma polaridade inversa. Tal como é usual na região de Figueira de Castelo Rodrigo, a superfície de  $S_0$  está marcada por um estiramento  $X_3$ ; contudo verifica-se que embora a estratificação apresente um comportamento homogéneo do ponto de vista geométrico, a lineação de estiramento apresenta duas modas;  $56^\circ$ , S41W e  $16^\circ$ , S85W. A primeira indica uma cinemática essencialmente cavalgante, enquanto que a segunda mostra uma movimentação essencialmente transcorrente. A existência destas duas cinemáticas em sequências de camadas paralelas reflecte uma acentuada partição da deformação durante a  $D_3$ . Também neste subsector, analisando o mapa estrutural (Fig. 25), torna-se ainda mais evidente a ausência do flanco Norte do sinclinal da Marofa, sendo que a espessura das unidades da F. de Santo Antão e da F. de Poiares-Castelo Rodrigo é muito curta, fazendo rapidamente a passagem das unidades migmatíticas para o Supergrupo Dúrico-Beirão a Sul.





Figura 27a

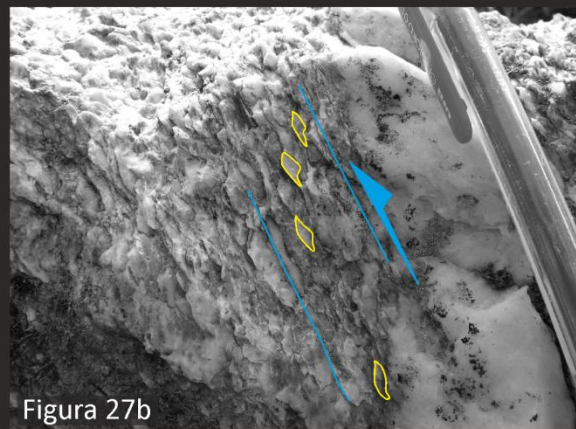


Figura 27b



Figura 28a

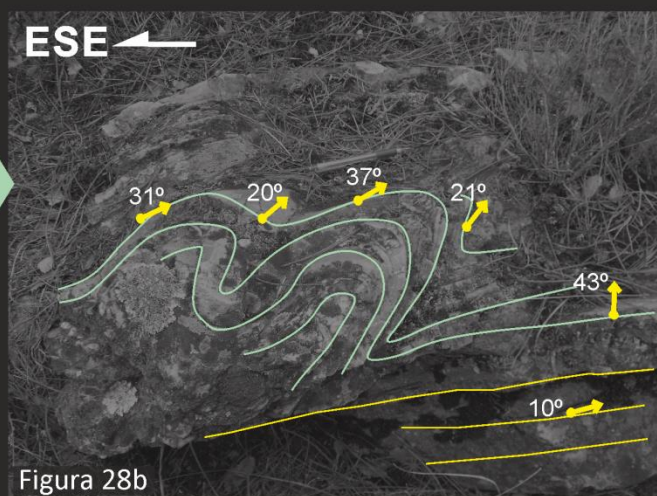


Figura 28b



Figura 30



Figura 29

Figura 27. a. Nível de conglomerado do Câmbrio, com evidências de deformação dúctil; b. Esquema interpretativo da cinemática associada à deformação cisalhante. Sector de Nave Redonda-Almofala.

Figura 28. a. Dobramento de unidades quartzíticas, com um nível de descolamento; b. Esquema interpretativo da fotografia a., com indicação do mergulho e direcção da lineação de estiramento, que se mantém aproximadamente paralela ao eixo de dobramento. Sector de Nave Redonda-Almofala.

Figura 29. Marcadores cinemáticos esquerdos associados à foliação milonítica pouco penetrativa. Sector de Nave Redonda-Almofala.

Figura 30. Lineação de estiramento com evidências de dobramento por dobras com eixo vertical, norteadas. Sector de Nave Redonda-Almofala.

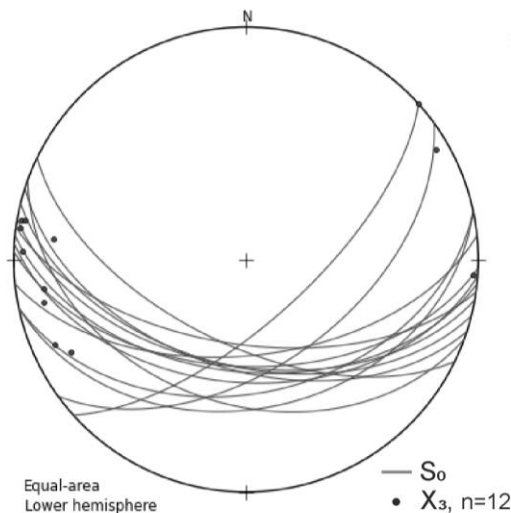


Figura 31. Projecção estereográfica em círculo de área igual correspondente ao subsector C; estratificação E-W (ainda que se observe alguma dispersão na direcção) a que se associam  $X_3$  pouco mergulhantes ora para Este ora para Oeste.

A ausência do flanco Norte, associada às estruturas de cinemática esquerda cavalgante, permitem admitir a existência de um importante acidente, mais tardio e frágil-dúctil, que lamina o flanco Norte do sinclinal e que coloca em contacto directo o baixo grau metamórfico com o alto grau metamórfico. Também aqui se observa que durante a deformação cisalhante, o achatamento dá lugar ao desenvolvimento de dobras isoclinais tombadas, associadas a superfícies de descolamento entre bancadas (Fig. 28).

Por fim, no subsector C, a geometria das unidades quartzíticas está associada a um  $S_0$  médio próximo de E-W,  $50^\circ$  a  $60^\circ$ S e com polaridade invertida; na superfície da estratificação nota-se uma lineação de estiramento  $X_3$  subparalela à direcção das camadas (Fig. 31). A esta lineação de estiramento associam-se critérios de cinemática esquerda (Fig. 29), mostrando que em termos regionais este subsector faz a transição para o sector de Juzbado da zona de cisalhamento principal JPC.

Localmente as bancadas mais finas nas quais  $X_3$  se encontra bem marcado encontram-se redobrados por dobras de eixo muito mergulhante, com planos axiais norteados (Fig. 30). A génese destas dobras é susceptível de diversas interpretações:

- actuação de uma 4ª fase de deformação, como sugerido por Gil Toja *et al.* (1985);
- influência da deformação tardi-varisca;
- carácter progressivo da deformação transcorrente  $D_3$ , em que as fases mais tardias redobram as estruturas  $D_3$  mais precoces, o que é compatível com a atitude bastante inclinada dos eixos.

## 6. Sector de Olmedo de Camaces

No sector espanhol da ZCJPC junto a Olmedo de Camaces, verifica-se que esta zona de cisalhamento principal provoca uma rotação acentuada do sinclinal  $D_1$  de Ahigal de los Aceiteros - Tamames de NW-SE para ENE-WSW; este padrão (Fig. 32) é compatível com a cinemática esquerda

D<sub>3</sub> típica desta zona de cisalhamento. Esta rotação é acompanhada de um aumento de deformação acentuado o que permite individualizar, à semelhança do que foi feito anteriormente, dois subsectores.

No subsector A, a tipologia de deformação assemelha-se ao observado na região de Penha de Águia, com evidências de cisalhamento dúctil essencialmente transcorrente, a afectar unidades quartzíticas com evidente recristalização. A deformação é aqui bastante intensa provocando um estiramento acentuado dos flancos do sinclinal que, à medida que aumenta a deformação, sofre o biselamento dos flancos tornando-se, no prolongamento mais para WSW sub-paralelo à ZCJPC. O subsector A corresponde à zona de transição onde a estratificação, que está invertida, apresenta uma orientação geral essencialmente E-W inclinando moderadamente (*i.e.* 30° a 40°) para Sul. Na superfície de estratificação encontra-se uma lineação de estiramento X<sub>3</sub> com uma atitude bastante constante, mergulhando cerca de 15° a 25° para ESE (Fig. 33).

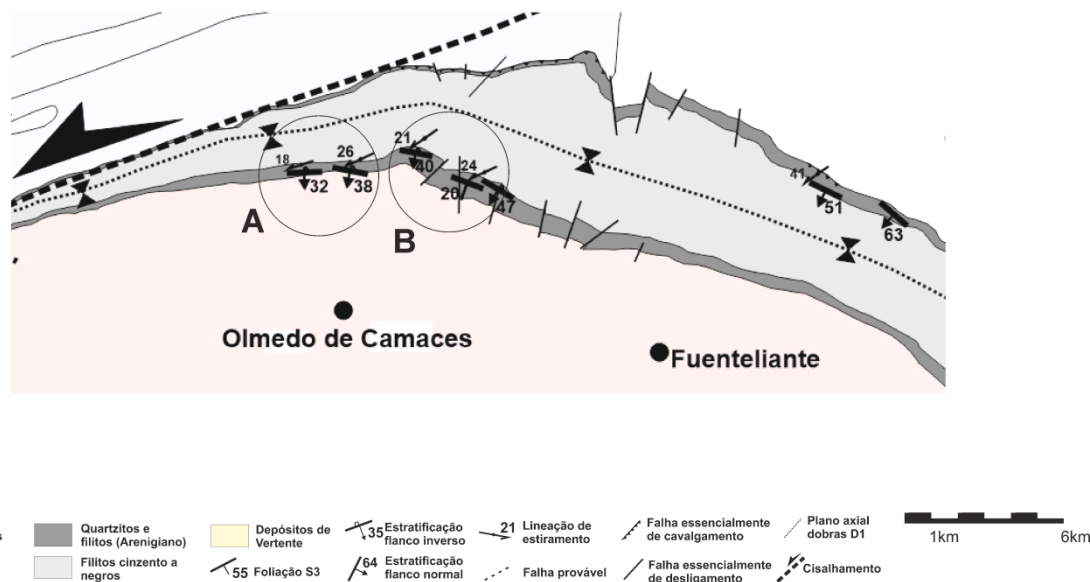


Figura 32. Mapa estrutural da área em estudo com o detalhe da estrutura no sector de Olmedo de Camaces.

Esta lineação de estiramento pouco mergulhante, associada a critérios cinemáticos esquerdos, aponta para uma movimentação essencialmente transcorrente esquerda. As bancadas de quartzito puro com raras intercalações filíticas, não permitiu a observação de mais estruturas associadas à zona de cisalhamento (como sejam dobras em bainha, dobramento isoclinal de pequeno comprimento de onda, etc), ainda que seja evidente a afectação do sinclinal por esta zona de deformação à macroescala (Fig. 32).

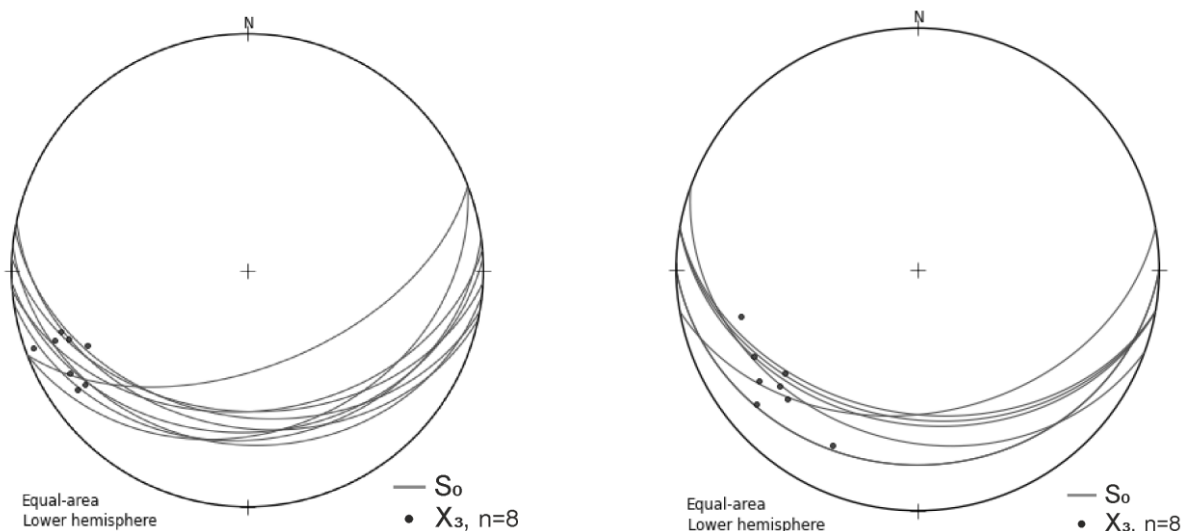


Figura 33. Projecção estereográfica em círculo de área igual; à esq. estratificação E-W a que se associam  $X_3$  pouco mergulhantes para Oeste para o subsector A; dta. estratificação E-W a ESE-WNW com  $X_3$  mergulhantes para Sudoeste para o subsector B.

Mais para leste, no subsector B, a cinemática principal dá lugar a uma movimentação mais tangencial (Fig. 33). Com efeito, a estratificação apresenta a orientação NW-SE típica das dobras  $D_1$ , com inclinações de  $30^\circ$  a  $40^\circ$  para SW e polaridade geralmente invertida; o estiramento na superfície de  $S_0$ , mergulha geralmente para SW o que evidencia essencialmente uma cinemática cavalgante com uma ligeira componente esquerda, o que pode ser interpretado como resultado da influência da ZCJPC.

De salientar que embora o sinclinal de Ahigal de los Aceiteros - Tamames seja essencialmente uma estrutura  $D_1$ , como sugerido pela rotação acentuada que sofre durante a  $D_3$ , durante a cinemática associada ao funcionamento da ZCJPC ele terá sofrido achatamento, o que será responsável pela reactivação de  $S_0$  numa situação essencialmente cavalgante, como evidenciado no subsector B (Fig. 34).

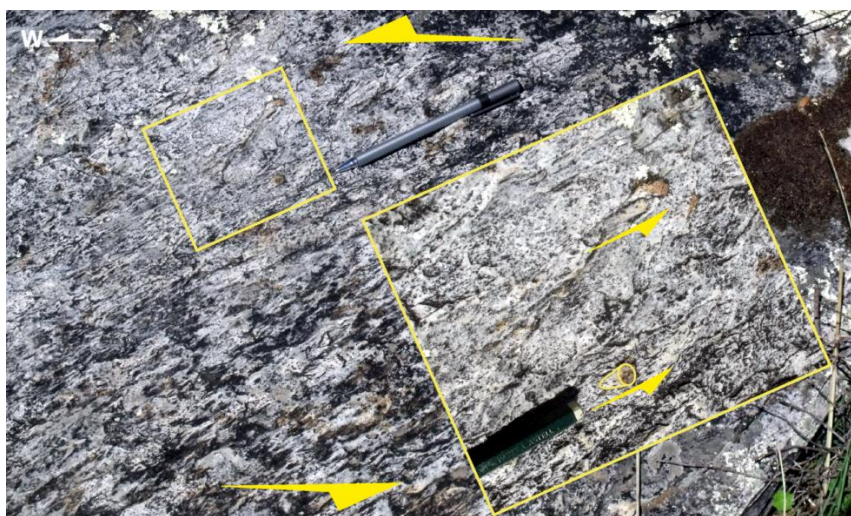


Figura 34. Skolithos em bancada quartzítica com evidente deformação cizalhante, como indicado com a seta a amarelo; Plano da imagem representa  $S_0$ , pelo que o topo da bancada avança para ENE enquanto que a base para WSW, compatível com uma cinemática esquerda-cavalgante (Skolitho ( $60^\circ$ ,  $S50^\circ W$ )).

## 7. Sector Escalhão

Tendo em vista a compreensão do processo de implantação do CAFCR-L é fundamental a caracterização do contacto Norte deste complexo ao nível da zona de cisalhamento de Huebra (Fig. 1), analisando o denominado sector de Escalhão (Fig. 35).

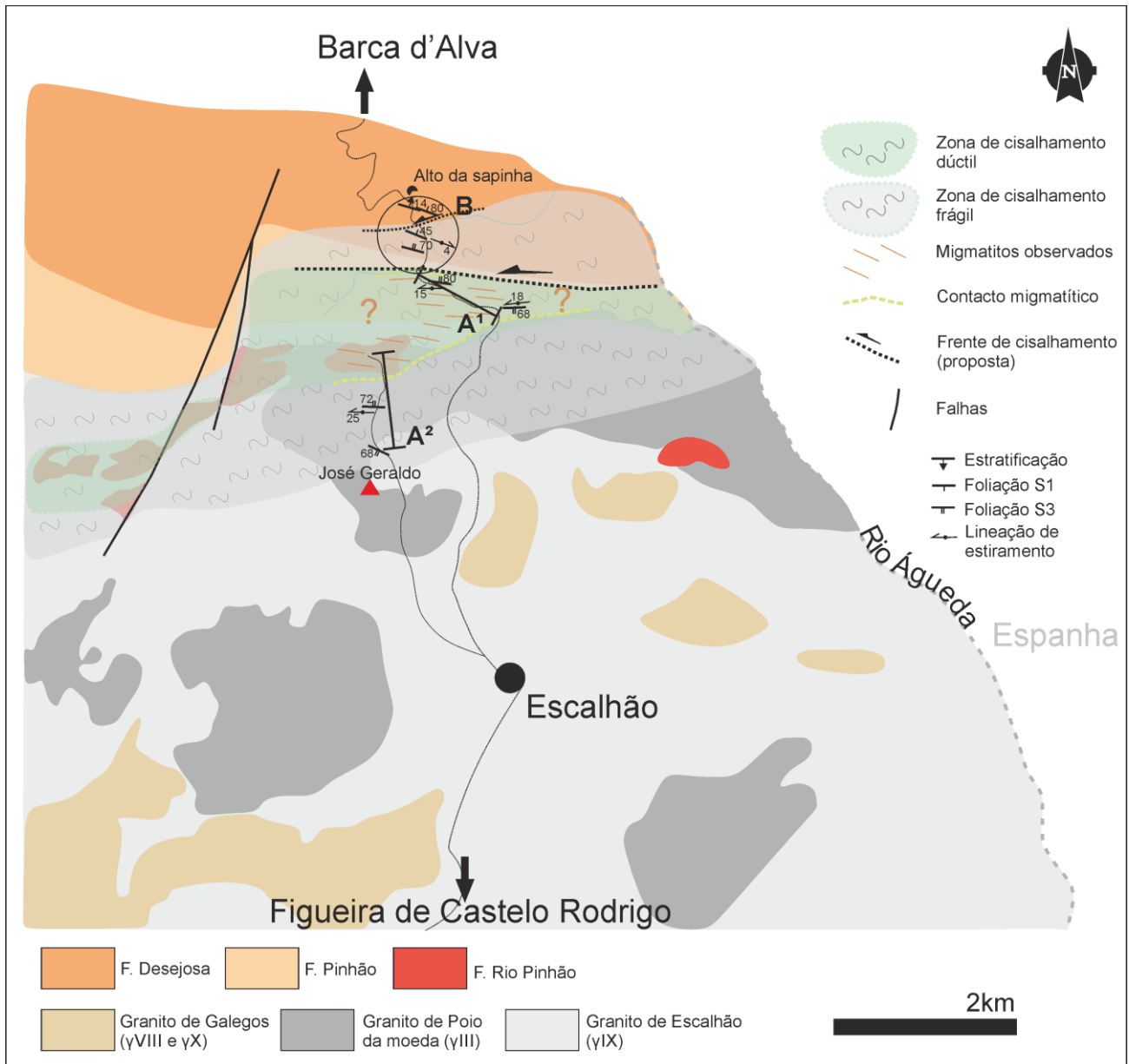


Figura 35. Mapa geológico simplificado do Sector de Escalhão, com re-interpretação da zona de cisalhamento anteriormente referida como Quinta dos Boais, e com referência à zona de migmatitos identificada, sendo que o seu prolongamento, por não ter sido observado, não foi delimitado. A nomenclatura dos granitos seguida foi baseada na carta geológica 15-B, ainda que se tenha colocado () a nomenclatura geral deste estudo, seguindo Ribeiro e Silva (2000). Modificado de Silva e Ribeiro (1994).

Com efeito, se o estudo dos sectores anteriores permitiram uma melhor compreensão do bordo Sul e Sudeste da ZCJPC, tornava-se fundamental perceber o bordo Norte. Seguindo a abordagem

anterior, não se realizou um estudo detalhado de cartografia estrutural, mas apenas observações pontuais na zona de Escalhão, tendo por base a cartografia existente (Silva e Ribeiro, 1994). Estas observações permitiram reinterpretar a cartografia existente, principalmente a nível da separação entre zonas de cisalhamento  $D_3$  dúcteis e as movimentações tardias mais frágeis (Fig. 35). Com efeito, verificou-se que a zona de cisalhamento com uma largura quilométrica (*i.e.* cerca de 2 km) que era marcada na carta geológica à escala 1/50 000 15B de Freixo de Espada-à-Cinta (Silva e Ribeiro, 1994) cortando indistintamente todas as intrusões graníticas bem como algumas do Grupo do Douro, incluía na mesma designação situações completamente distintas, que foram re-interpretadas neste estudo (Fig. 35). No transecto  $A^1$  (Fig. 35), observa-se a existência de uma unidade metatexítica, intercalada com lenticulas de diatexito, que vem, originalmente, marcada como Formação de Pinhão. Esta unidade estende-se até ao contacto com a Formação da Desejosa. O contacto não foi observado, sendo que está materializado por um vale onde, a cada lado, se encontram as duas unidades distintas (Metatexitos e F. da Desejosa). Estas unidades estão afectadas por uma zona de cisalhamento dúctil a frágil-dúctil esquerda (Fig. 36 e 40). A foliação milonítica ( $S_{3a}$ ) na unidade migmatítica apresenta-se  $N82^\circ W$  com inclinação variável ( $60^\circ S$  a  $80^\circ N$ ) a que se associam duas lineações de estiramento; a mais antiga  $X_{3a}$   $18^\circ$ ,  $S84^\circ W$  e a mais tardia com um carácter mais frágil  $X_{3b}$   $10^\circ$ ,  $S85^\circ E$ , posta em evidência numa relação de intersecção de um filão aplito-pegmatítico com *chill margins* (Fig. 37). No transecto  $A^2$  observa-se de sul para norte a passagem de um domínio de granitos isótopos (Poio da Moeda e Escalhão), que gradualmente passam a apresentar uma foliação incipiente, com planos C espaçados  $N88^\circ W$ ,  $65^\circ N$  e C'  $N65^\circ E$ ,  $82^\circ N$  a indicarem cinemática esquerda (Fig. 39), com uma  $X_3$   $25^\circ$ ,  $N88^\circ W$ . A deformação aqui observada é muito mais incipiente do que a observada nos migmatitos no transecto  $A^1$ , pressupondo que este poderá ser um evento mais frágil tardio ( $D_{3b}$ ).

Junto ao contacto com os migmatitos (subsector B), a F. da Desejosa apresenta  $S_0//S_1$  transposta por  $S_{3a}$ , sendo ainda claro o bandado sedimentar (Fig. 38), evidenciando um salto metamórfico muito importante. Esta  $S_{3a}$  apresenta-se  $N80^\circ W$ ,  $85^\circ N$ , a que se associam duas lineações de estiramento  $X_3$   $8^\circ$ ,  $N80^\circ W$  e  $16^\circ$ ,  $N80^\circ W$ . A deformação cisalhante ainda se prolonga algumas dezenas de metros pelo encaixante em menor grau metamórfico. Esta deformação é marcada pela laminação dos flancos das dobras  $D_1$  por uma foliação  $S_{3b}$  muito mais penetrativa que  $S_1$  (Fig. 41). Esta deformação desaparece por completo já próximo do alto da sapinha (Fig. 35), passando a observar-se um  $S_0$   $N82^\circ W$ ,  $30^\circ N$ , um  $S_1$   $N75^\circ W$ ,  $74^\circ N$  de plano axial de dobras de grande amplitude e um  $L_1$   $4^\circ$ ,  $S75^\circ E$  (Fig. 42), pressupondo um segundo acidente, responsável pela sobreposição destes domínios com diferente incidência de deformação.



Figura 36

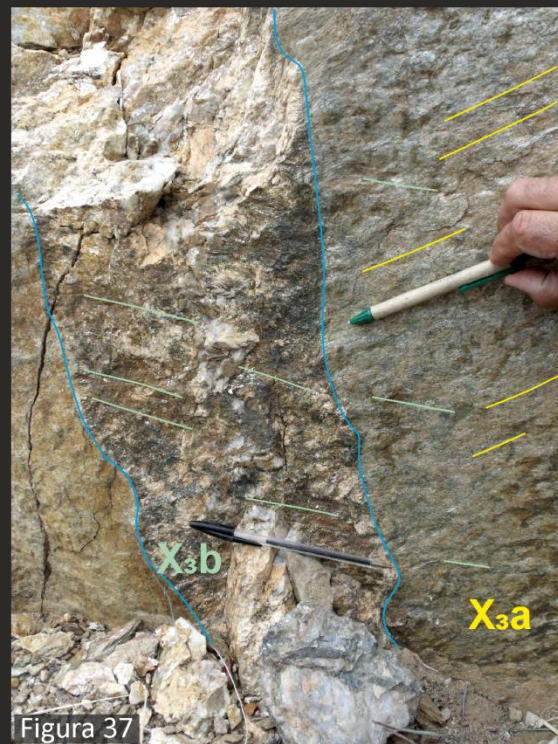


Figura 37



Figura 38

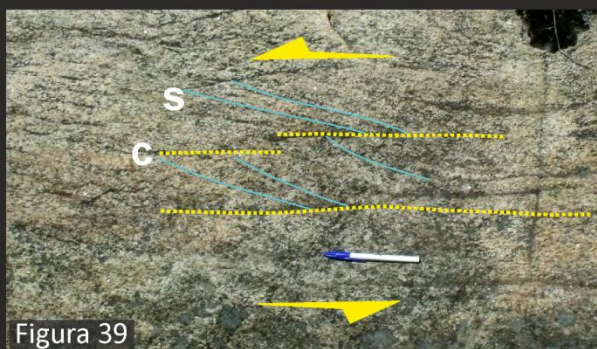


Figura 39



Figura 40

Figura 36. Critérios cinemáticos esqueros associados a foliação milonítica. Sector Escalhão.

Figura 37. Dique aplítico a intersectar a unidade metatexítica com lineações de estiramento distintas; o aplito só apresenta  $X_{3b}$ , indicando o seu carácter posterior em relação à  $X_{3a}$ . Sector Escalhão.

Figura 38. Bandado sedimentar do encaixante em grau metamórfico baixo (zona da biotite), dado pela intercalação de níveis calcossilicatados com pelíticos. Sector Escalhão.

Figura 39. Criérios cinemáticos dúcteis num granitóide, com bandas C-S associadas a cinemática esquerda. Sector Escalhão.

Figura 40. Critério cinemático dúctil na unidade metatexítica, com o desenvolvimento de sigmóides com geometria cizalhante sinistrógira. Sector Escalhão.



Figura 41



Figura 42

Figura 41. Laminação das dobras  $D_1$  associada a uma  $S_3$  mais penetrativa. Sector Escalhão.

Figura 42. Dobras isoclinais amplas  $D_1$ , com um  $S_1$  espaçado, pouco penetrativo. Sector Escalhão.

## 8. Considerações finais

Figueira de Castelo Rodrigo representa, deste modo, um macrosector de grande importância para a compreensão da evolução da ZCJPC. A análise dos diversos sectores permitiu realizar um contributo para o melhor conhecimento desta estrutura, bem como uma tentativa para a concepção de um modelo evolutivo.

Deste modo, após esta análise, verificou-se que a ZCJPC não pode ser considerada como uma zona de deformação discreta, mas o conjunto de uma série de zonas de cisalhamento que terão acomodado toda a sua movimentação desde a sua génese. Em determinados sectores verificou-se uma menor deformação associada à  $D_3$  transcorrente, ainda que sempre patente, podendo observar-se a interferência de estruturas com a  $D_1$  regional (Azêvo, Olmedo de Camaces SW) ou fases mais tardias e menos dúcteis da  $D_3$  (Nave Redonda – Almofala). Por contraste, quando a deformação associada à  $D_3$  é mais pervasiva, as estruturas da  $D_1$  são obliteradas, e desenvolvem-se diferentes tipos de estruturas, indicativo de deformação heterógena (Penha de Águia) ou mesmo fortes inflexões e uma foliação milonítica muito penetrativa (Olmedo de Camaces).

Anteriormente a estrutura do sinclinal da Marofa era considerada como paralela à ZCJPC, sendo que esta análise permitiu distinguir que o padrão cartográfico ENE-WSW do sinclinal se deve a uma coincidência geométrica, como resultado de uma geometria E-W formada durante a  $D_3$ , posteriormente retocada durante um evento dúctil-frágil durante o tardi-varisco NNE-SSW, que segmenta o sinclinal, induzindo pequenas rotações em alguns troços do sinclinal (*e.g.* Azêvo e Colmeal). A crenulação tardia que afecta toda a estrutura, inclusivamente a foliação milonítica  $S_3$  (*e.g.* Penha de Águia, Nave Redonda – Almofala) poderá ser por isso mesmo atribuível à deformação tardi-varisca, ainda que se devam considerar duas outras possibilidades, como seja uma  $D_4$  dúctil-frágil ou mesmo o resultado de deformação progressiva durante a  $D_3$ .

Foi possível também distinguir duas fases de deformação durante a  $D_3$ , com cinemática comum (Escalhão), o que permite inferir que a ZCJPC se manteve activa durante um longo período de



tempo; as fases mais precoces e dúcteis controlaram a ascensão dos migmatitos e a mais tardia e frágil a ascensão dos granitos mais tardios do CAFCR-L. Estas observações são compatíveis com a observação de *chill margins* em filões aplito-pegmatíticos, que deverão mimetizar as condutas de ascensão dos corpos graníticos mais tardios, só registando a deformação  $D_{3b}$ .

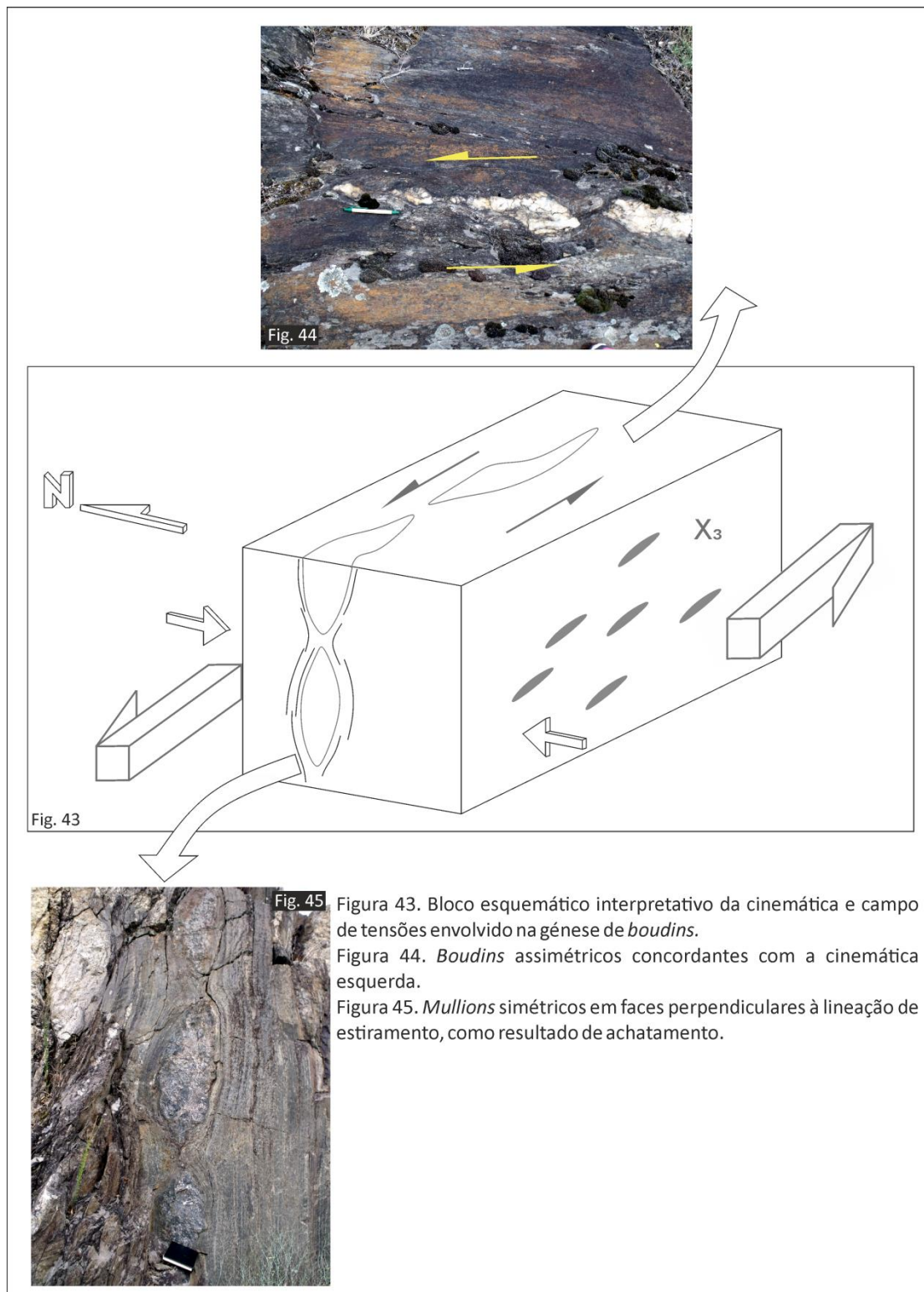


Fig. 43

Fig. 44

Figura 43. Bloco esquemático interpretativo da cinemática e campo de tensões envolvido na génese de *boudins*.

Figura 44. *Boudins* assimétricos concordantes com a cinemática esquerda.

Figura 45. *Mullions* simétricos em faces perpendiculares à lineação de estiramento, como resultado de achatamento.

Assim, poder-se-ão considerar dois grupos de granitóides em termos cinemáticos; um grupo autóctone com respeito aos migmatitos, caracterizados pela presença de uma deformação dúctil

penetrativa (D<sub>3a</sub>) e um grupo parautóctone, ainda que correlacionado geneticamente com os anteriores, que só registam os estádios evolutivos mais avançados da ZCJPC (D<sub>3b</sub>).

Por fim, a presença de *boudins* e *mullions* pegmatíticos e quartzosos (e.g. Escalhão, transecto A<sup>1</sup>; Fig. 43 a 45), associados a um estiramento subhorizontal, é indicativo de um regime transpressivo do tipo *simple shear dominated transpression* (Fossen e Tikoff, 1993; Fig. 43), com suave achatamento subperpendicular à zona de cisalhamento, que por não ser mais intenso, não dá lugar a uma lineação de estiramento mais subvertical.

#### Referências bibliográficas

- Dias, R., Ribeiro, A., 1994. Constriction in a transpressive regime: an example in the Ibero-Armorica in *Arc. J. Struct. Geol.*, 16/11, 1543-1554.
- Dias, R., Ribeiro, A., 2013. *O Varisco do sector norte de Portugal*. In: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, J.C. Kullberg (Eds), *Geologia de Portugal*, vol. 1, Escolar Editora, 59-71.
- Fossen, H., Tikoff, B., 1993. The deformation matrix for simultaneous simple shearing, pure shearing and volume change, and its application to transpression-transension tectonics. *J. Struct. Geol.*, 15: 413-422.
- Gil Toja, A., Jimenez-Ontiveros, P., Seara Valero, J.R., 1985. La cuarte fase de deformación Hercínica en la Zona Centrolbérica del Macizo Hespérico. *Cuad. do Lab. Xeol. de Laxe*, 9: 91-103.
- Oliveira, J. T., Pereira, E., Ramalho, M., Antunes, M. T. E Monteiro, J. H., 1992. *Carta Geológica de Portugal à escala 1/500000*, 5ª edição, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Ribeiro, A., Pereira, E., Dias, R., 1990. Structure of the Northwest of the Iberian Peninsula: In: D. Dallmeyer, & E. Martinez Garcia, (Eds.), *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. Springer-Verlag, 220-236.
- Silva, A., Ribeiro, M. L., 1994. *Carta Geológica de Portugal na Escala 1:50 000 e Notícia Explicativa da Folha 15-B (Freixo de Espada à Cinta)*, Lisboa: Instituto Geológico e Mineiro, 48 p.
- Silva, A., Ribeiro, M. L., 2000. *Carta Geológica Simplificada do Parque Arqueológico do Vale do Côa*, Ed. Parque Arqueológico do Vale do Côa. Vila Nova de Foz Côa.