

Universidade de Évora

Automação da rega de superfície com retorno, em tempo real, da informação do campo

Shakib Shahidian

Orientador: *Professor Ricardo P. Serralheiro*



Évora, 2002

Universidade de Évora

Automação da rega de superfície com retorno, em tempo real, da informação do campo

Shakib Shahidian

Orientador: *Professor Ricardo P. Serralheiro*

Dissertação apresentada à Universidade de Évora para satisfação parcial dos requisitos para a obtenção do grau de Doutor.

Este trabalho inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri.



131 567

631.67

Évora, 2002

*Ao estabelecimento da unidade entre todos
os povos do mundo, e à melhoria das suas
condições de vida.*

Resumo

Os sistemas de rega de superfície, como por exemplo o cabo-rega, apresentam a vantagem de custo de instalação e bombagem reduzido. No entanto, as suas vantagens económicas têm sido erodidas pelo aumento dos encargos com a mão-de-obra, e subsídios à aquisição de equipamentos de rega mais caros. Os avanços tecnológicos dos últimos anos permitem conceber sistemas de rega de superfície automatizados que minimizam a necessidade de mão-de-obra, sem aumentar significativamente os custos.

Pretende-se com o presente trabalho dar um contributo para o desenvolvimento de sistemas cabo-rega automatizados, com retorno de informação do campo, que possam otimizar a rega com um mínimo de supervisão.

Nesse sentido, foram desenvolvidos sistemas de cabo-rega electrónicos com controlo simples, (CaboMatic), onde a velocidade do deslocamento do êmbolo é introduzida pelo operador, e sistemas de controlo inteligentes, tipo CaboGest, onde o controlador adapta o deslocamento do êmbolo aos comprimentos dos sulcos e às condições de infiltrabilidade do solo, utilizando para o efeito a equação da infiltração determinada em tempo real.

Foi também desenvolvido o equipamento necessário à automação e melhor funcionamento do sistema, incluindo um êmbolo auto-solta, sensores de avanço via rádio, e relés que permitem o arranque e paragem automática da rega.

O programa original da gestão de rega (CaboGest) sofreu diversas melhorias ao nível do algoritmo de cálculo e gestão global da rega. Foram acrescentadas rotinas de controlo da rega, e uma melhor interface com o operador. Foi desenvolvida uma versão do programa, que simula a rega partindo do último sulco do campo para o primeiro, conseguindo assim aumentar a Eficiência de aplicação, *EA*. Nesta versão, aquando da simulação do avanço num determinado sulco, o programa já possui e utiliza os tempos de aplicação nos sulcos a jusante que irão influenciar a rega no referido sulco. Passa também a ser possível ao controlador verificar a evolução da rega em pontos múltiplos, criteriosamente seleccionados no campo. Foram controladas 43 regas, constatando-se que os tempos de avanço simulados pelo controlador apresentam um desvio padrão de 10,7 minutos face aos observados. A *EA* diminuiu ao longo da campanha, passando de 84 para 70% ao fim de trinta regas. A Uniformidade de distribuição, *UD* variou entre 72 e 90%.

Assistiu-se à diminuição gradual da infiltrabilidade, tendo o controlador reduzido a duração total da rega de 30 para 10 horas perto do fim da campanha. Ficou demonstrada a necessidade do controlo em tempo real das condições da infiltrabilidade do solo, bem como da necessidade do re-ajustamento dos módulos parcelares à redução da infiltrabilidade do solo. Constatou-se também que os parâmetros da equação de infiltração determinados pelo método dos dois pontos são influenciados pelo comprimento dos troços considerados e pelo teor de água no solo, sendo insensíveis ao módulo parcelar utilizado.

Os sistemas CaboGest desenvolvidos permitem um bom nível de automação com uma qualidade de rega superior ao possível com o controlo manual. Os custos do controlador são compensados em economia de mão-de-obra e uma utilização mais fiável, sendo potencialmente um dos sistemas de rega mais económicos.

PALAVRAS CHAVE: REGA DE SUPERFÍCIE; CABO-REGA; AUTOMAÇÃO; RETORNO DE INFORMAÇÃO; INFILTRAÇÃO; BLOCOS DE CONTORNO.

Abstract

Automation of surface irrigation with real-time feed-back from the field

Surface irrigation systems, such as cablegation offer low installation and pumping costs. Never the less, their economic advantage has been eroded in the past few years by an increase in labor costs along with substantial subsidies to acquisition of more expensive irrigation equipment. The technological advances of the past few years open the doors for automated surface irrigation systems that minimize labor needs, without significantly increasing the operating costs.

The main objective of this work is to contribute to the development of automated cablegation systems with feed-back from the field that can offer high irrigation qualities, while minimizing the need for labor and general supervision, .

For this purpose electronic cablegation systems were developed with simple controllers (Cabomatic), in which the piston displacement speed is defined by the user, and with intelligent controllers with feed-back (CaboGest) in which the controller adapts the displacement of the piston to the individual length of the furrow and the soil infiltrability. In order to do this, the systems determines the infiltration equation (Kostiakov type), in real-time, using advance times to two points in a selected furrow. It then proceeds to simulates the advance in each one of the furrows, and thus, using the simulations, efficiently irrigates the field.

In order to further automate the system and increase its reliability, a set of auxiliary equipment was developed including an auto-release piston, wireless advance detectors and relays that make it possible to automate the start and end of the irrigation event and to control water supply from the controller.

The original irrigation modeling and control program, CaboGest, was submitted to various improvements in terms of the model as well as the overall irrigation management. New irrigation control routines as well as a better user interface were added. A new version of the software was developed (version 3i) that simulates the irrigation from the last to the first furrow, thus improving the overall Application Efficiency, *AE*. In this version, when the program is simulating the advance in a certain furrow it takes into account the application times for the following furrows which in effect influence the irrigation in the current furrow. In addition, new routines were developed to allow the controller to verify the evolution of the irrigation event in multiple pre-selected points in the field. Thus it is able for the controller to re-adjust the application times accordingly.

A total of 43 irrigation events were controlled in three years. The simulated advance times differed from the observed times by an average of 2 min with a standard deviation of 10.7 min, which are satisfactory. The *AE* decreased along the irrigation season, changing from 84% to 70% after 30 irrigation events. However it was not possible to establish a pattern for the Distribution Uniformity, *DU*, which varied between 72% and 90%.

A sharp decrease in infiltrability was observed along the season, which led the controller to automatically decrease the total irrigation time from 30 hours to about 10 hours at the end of the season. Thus proving that real-time control of the soil infiltrability conditions is crucial in

obtaining a high AE . It also became apparent that it is necessary to re-adjust the opening of the gates according to the soil infiltrability, two or three times during the season.

The parameters of the Kostiakov infiltration equation, determined by the two point method, are apparently influenced by the length of the furrow and the relative position of the two points considered. On the other hand, the equation is influenced by soil moisture content, while remaining fairly insensitive to the inflow rate.

It is possible to conclude that the CaboGest systems developed allow for a high level of automation with better irrigation qualities than is possible with manual control. The cost of the controller is easily repaid by savings in labor and through higher reliability. This is probably one of the most economical irrigation systems available.

KEY WORDS: SURFACE IRRIGATION; CABLEGATION; AUTOMATION; FEED-BACK; INFILTRATION; CONTOUR TERRACES.

Agradecimentos

Todas as pessoas com quem contactamos diariamente contribuem de alguma forma para o nosso crescimento e desenvolvimento pessoal. No entanto, gostava, de expressar a minha apreciação e gratidão às seguintes pessoas pelo seu contributo para a concretização do presente trabalho:

Ao Professor Ricardo Paulo Serralheiro, o meu Orientador e Mestre devo manifestar antes de mais o grande apreço pelo Homem e pela pessoa. A sua preocupação constante com o bem estar de todos os membros da equipa e não só, a manifesta abnegação na resolução dos problemas de todos, e a sua rectidão exemplar fazem dele um modelo perfeito de investigador e Mestre. O seu espírito aberto, a sua racionalidade e capacidade de analisar as questões a fundo, a sua camaradagem franca e sincera são uma fonte de inspiração para todos quanto tiveram o prazer e a alegria de o conhecer e trabalhar com ele.

Ao Professor Serralheiro devo, ainda em 1993, a possibilidade de participar no Mestrado, a ideia original do presente trabalho, e posteriormente a sua valiosa orientação nos ensaios do campo e na elaboração da tese. A sua capacidade espantosa de oferecer orientação e guia e dar total apoio, de maneira completamente subtil e natural, transformam a investigação numa agradável descoberta.

A ele, todo o meu respeito e admiração.

Ao Eng. Pedro Angélico Quartín, o meu parceiro de investigação, com quem trabalhei quase diariamente no campo. As suas ideias brilhantes e a sua capacidade de discutir as questões que surgem em cada instante foram uma fonte de encorajamento constante. Os múltiplos desafios encontrados só foram resolvidos graças ao seu apoio, persistência e génio criativo.

Ao Professor Lúcio dos Santos cujo encorajamento e visão foram sempre um motivo de alegria para mim. O seu empenho, persistência e método de trabalho são exemplares para todos quanto o conhecem. Agradeço-lhe ainda as conversas instrutivas ao longo dos vários anos do ensaio e pela sua paciente revisão do texto.

Ao Professor Pedro Leão de Sousa, pelo seu encorajamento e apoio, e por ser dos que partilham da visão do presente trabalho. Agradeço-lhe ainda as suas valiosas sugestões ao longo dos anos e a revisão de partes do presente trabalho.

Ao Professor Alfredo Gonçalves Ferreira, presto aqui uma homenagem. Embora nunca tenhamos discutido os pormenores do presente trabalho, o seu encorajamento, visão brilhante e capacidade de discernimento raro têm sido um apoio inestimável para mim.

Ao Professor Tabuada, um dos expoentes da modelação da rega de superfície em Portugal. Agradeço o seu apoio e encorajamento e o facto de tão prontamente ter dispensado o seu CaboMatic em plena época de rega.

Aos colegas do Departamento, cujo carinho e encorajamento foram essenciais para a realização do presente trabalho. Na impossibilidade de mencionar todos, agradeço às Eng^{as}. Olga Martins e Adélia Sousa a paciente e minuciosa revisão do texto e as valiosas sugestões dadas, ao amigo Henrique Chia pela grande amizade demonstrada e o seu inestimável apoio na realização dos ensaios, e ao amigo Vasco Fitas por proporcionar um óptimo ambiente de trabalho no Departamento. Ao Eng. Rui Machado pela sua grande amizade desde os tempos de aluno e pelas importantes sugestões sobre a apresentação do trabalho e à Dr^a. Raquel Lucas pela revisão do estudo económico.

Aos estagiários e tarefeiros que compartilharam comigo o maravilhoso sol do Alentejo, a Dina, os Pedros, o Ivan e o Hugo. Espero que o seu espírito jovem, a sua alegria e o seu empenho lhes tragam muitas felicidades no futuro.

Ao Sr. Freixa e à Cooperativa do Cabido vão um agradecimento muito especial, pelo espírito generoso com que acolheram os presentes ensaios, a sua paciência perante os requisitos próprios de trabalhos científicos, e a casa aberta proporcionada, mesmo quando isso implicava atrasar os seus próprios trabalhos. A franca e sincera amizade demonstrada por todos, mesmo quando não concordavam com o que estava a ser feito, é um exemplo para todos nós. A eles um grande agradecimento.

Os últimos são sempre os primeiros. Naturalmente a minha família merece todo o carinho e agradecimento pelo seu sacrifício e apoio constante ao longo dos últimos cinco anos.

A realização deste trabalho só foi possível graças à uma Bolsa de Doutoramento *Praxis XXI/ BD/ 9364/ 96*, a qual sinceramente agradeço.

Os ensaios de campo foram realizados no âmbito dos seguintes projectos:

PAMAF 4063 “*Estudo comparativo de métodos de rega no Alentejo para apoio à decisão de escolha dos métodos e ao projecto dos sistemas*”.

PRAXIS XXI 2306 “*Uso eficiente e sustentável da água na Agricultura com integração de tecnologias da rega, da drenagem e das necessidades hídricas das culturas*”.

Índice

Agradecimentos

Resumo

Abstract

Índice de Quadros

Índice de Figuras

Índice de símbolos

1 Introdução e objectivos	1
1.1 Introdução	3
1.2 Objectivos	4
2 Revisão bibliográfica	7
2.1 Características da infiltração e do escoamento em sulcos	9
2.1.1 O perímetro molhado e a infiltração	10
2.1.2 Rugosidade do sulco	11
2.1.3 Evolução dos perfis transversais	12
2.1.4 Formação da Crosta	14
2.1.5 Velocidade de escoamento e a taxa de infiltração	14
2.2 Modelação matemática da infiltração e do escoamento	15
2.2.1 Equações da Infiltração	15
2.2.2 Métodos para determinação das equações da infiltração	16
2.2.2.1 O Método do balanço volumétrico	18
2.2.2.2 Determinação da equação de Kostiakov pelo Método de Elliot e Walker	19
2.2.3 Modelação matemática do escoamento	22
2.2.4 Programas para modelação do escoamento	26
2.3 Desenvolvimento de sistemas cabo-rega	27
2.3.1 O cabo-rega	27
2.3.1.1 Descrição do Sistema	27
2.3.1.2 Gestão de sistemas cabo-rega	30
2.3.1.3 Dimensionamento de sistemas cabo-rega	33
2.3.2 Evolução do Equipamento de cabo-rega	33
2.3.3 Evolução do controlador do cabo-rega	36
2.3.4 Avanços no desenvolvimento de sistemas de rega utilizando retorno da informação do campo em tempo real	40

3 Material e Métodos	43
3.1 Caracterização do campo de ensaio	45
3.1.1 <i>Localização</i>	45
3.1.2 <i>Caracterização do solo</i>	46
3.2 Organização do campo em blocos de contorno	47
3.2.1 <i>Implantação dos blocos no terreno</i>	48
3.3 Preparação do campo	50
3.4 Condução do ensaio	51
3.4.1 <i>O sistema cabo-rega</i>	52
3.4.2 <i>Aplicação de poliacrilamidas em 1999</i>	53
3.4.3 <i>Adubação</i>	53
3.5 Metodologia e material de ensaio	54
3.5.1 <i>Caracterização da secção transversal dos sulcos</i>	55
3.5.2 <i>Profundidade do escoamento</i>	56
3.5.3 <i>Medição dos tempos de avanço e de recessão</i>	56
3.5.4 <i>Medição dos caudais</i>	57
3.5.5 <i>Medição da humidade do solo</i>	58
3.5.6 <i>Produção de milho</i>	59
3.5.7 <i>Avaliação</i>	60
3.5.7.1 <i>Avaliação das regas</i>	60
3.5.7.2 <i>Avaliação do sistema</i>	61
3.5.8 <i>Estudo da influência do caudal e da humidade do solo sobre a infiltrabilidade</i>	62
4 Desenvolvimento do programa CaboGest	65
4.1 O Método CaboGest	68
4.2 Modelação do escoamento	69
4.2.1 <i>Cálculo da velocidade de avanço</i>	72
4.2.2 <i>Cálculo do volume infiltrado</i>	72
4.2.3 <i>Cálculo do armazenamento superficial</i>	73
4.2.4 <i>Calculo do caudal disponível para o incremento seguinte</i>	74
4.2.5 <i>Perímetro molhado</i>	75
4.2.6 <i>Determinação do coeficiente de rugosidade de Manning</i>	76
4.2.7 <i>Sistema de apoio à decisão</i>	76
4.3 Novas funcionalidades do CaboGest	77
4.3.1 <i>Simulação inversa da rega no campo</i>	77
4.3.2 <i>Controlo da evolução da rega em pontos múltiplos</i>	79

4.3.3 Correção dos caudais calculados para os orifícios	80
4.3.4 Regas com duração de vários dias	82
4.3.5 Cálculo da dotação média e volumes aplicados	83
5 Desenvolvimento do equipamento CaboGest	85
5.1 Evolução do controlador CaboGest	88
5.1.1 Automação do arranque e paragem da rega	89
5.1.2 Sistema de controlo do motor	91
5.2 Evolução do Motor	91
5.2.1 Redução do diâmetro da bobine de enrolamento do cabo	92
5.2.2 Redução do esforço sobre o motor	93
5.2.3 O motor e a caixa de redução	94
5.3 Retorno da informação do campo	94
5.4 Rebobinagem automática do cabo	96
5.4.1 Êmbolo auto-solta	96
5.5 Sistemas de protecção	97
5.6 Fiabilidade da abertura das válvulas corredeiras	98
5.7 Desenvolvimento de novos tipos de controladores	99
5.7.1 Sistema com controlo manual, a 220V	100
5.7.2 Sistema com controlo manual, solar	100
5.7.3 Sistema CaboGest solar	101
6 Resultados e discussão	105
6.1 Avaliação do desempenho do sistema CaboGest	109
6.1.1 Funcionamento geral do sistema	109
6.1.2 Uniformidade dos caudais debitados pelas janelas	110
6.1.3 Avaliação das simulações realizadas pelo CaboGest	111
6.1.4 Avaliação das qualidades das regas	114
6.1.4.1 A uniformidade	114
6.1.4.2 Os excedentes	117
6.1.4.4 A eficiência de aplicação	119
6.1.5 A evolução da rugosidade	121
6.1.6 Dotação aplicada	122
6.2 Estudo da infiltração	125
6.2.1 Evolução da infiltrabilidade ao longo da campanha	125
6.2.1.1 Coeficiente e expoente da equação de infiltração	127
6.2.1.2 Variação de k e a com os tempos de avanço	128

6.2.2 <i>Influência do módulo parcelar sobre os tempos de avanço</i>	129
6.2.2.1 <i>Influência do caudal sobre a equação de infiltração determinada pelo método dos dois pontos de Elliot e Walker</i>	130
6.2.3 <i>Influência do teor de água sobre a infiltração</i>	133
6.2.3.1 <i>Influência do teor de água sobre o avanço</i>	133
6.2.3.2 <i>Influência do teor de água e do caudal sobre a infiltração</i>	134
6.3 Efeito das posições seleccionadas para a determinação da equação de infiltração pelo método dos dois pontos de Elliot e Walker	137
6.4 Evolução dos perfis transversais dos sulcos	141
6.5 Aperfeiçoamento do método CaboGest	147
6.5.1 <i>Simulação inversa da rega no campo</i>	148
6.5.2 <i>Abertura variada de janelas</i>	151
6.5.3 <i>Redução progressiva da abertura das janelas ao longo da campanha</i>	154
6.6 Produções obtidas	156
6.7 Breve estudo económico	157
6.7.1 <i>Economia de mão-de-obra</i>	157
6.7.2 <i>Custos fixos do equipamento</i>	158
7 Conclusões e perspectivas de investigação futura	161
7.1 Conclusões	163
<i>Adaptação à infiltrabilidade do solo</i>	164
<i>Qualidades das regas realizadas</i>	165
<i>Efeito do módulo parcelar sobre a infiltração</i>	166
<i>Coeficiente de rugosidade de Manning</i>	166
<i>Crítérios para a determinação da equação da infiltração</i>	166
<i>Solos Argiluvitados</i>	167
<i>Organização do campo</i>	167
<i>Evolução da geometria transversal dos sulcos</i>	168
<i>Custos</i>	168
7.2 Perspectivas de investigação futura	169

Bibliografia

Anexos

Índice de Figuras

Figura 2.1 Sistema cabo-rega convencional com roda hidráulica.	28
Figura 2.2 Influência da velocidade do êmbolo sobre o hidrograma dos caudais debitados por um dado orifício, mantendo-se constantes os outros parâmetros (Caudal total: 10 l seg^{-1} , declive: $0,002 \text{ m m}^{-1}$, diâmetro eq. dos orifícios: 40 mm). Simulação realizada com CaboGest (Shahidian, 1996).	29
Figura 2.3 Efeito do caudal total sobre o número de orifícios debitando em simultâneo, e o caudal debitado por cada um. (Caudais totais: 5, 10 e 15 l s^{-1} , declive: $0,002 \text{ m m}^{-1}$, diâmetro equivalente dos orifícios: 30 mm). Simulação feita com o programa Cabomet (Kincaid, 1989).	30
Figura 2.4 Influência do diâmetro equivalente dos orifícios sobre os caudais aplicados e a duração da aplicação (mantendo-se constante os outros parâmetros: Caudal total = 10 l s^{-1} , declive = $0,002 \text{ m m}^{-1}$, velocidade êmbolo = 6 m h^{-1} , distância entre orifícios = 0,75 m). Simulação realizada com Cablemet (Kincaid, 1989).	31
Figura 2.5 Hidrogramas de entrada e saída tipicamente obtidas com o cabo-rega (Shahidian, 1996).	32
Figura 2.6 Sistema engenhoso de cabo-rega adaptado à rega intermitente (adaptado de Kemper <i>et al.</i> , 1985).	33
Figura 2.7 Dissipador de energia desenvolvido por Kemper <i>et al.</i> (1985).	34
Figura 2.8 Esquema do primeiro cabo-rega eléctrico, mostrando o motor de 12V e o sistema de redução utilizado (adaptado de Kemper <i>et al.</i> , 1981).	36
Figura 2.9 Sistema cabo-rega com controlo electrónico da velocidade desenvolvido por Sousa <i>et al.</i> (1992-2001). Na fotografia à esquerda pode-se observar o sistema de derivação em paralelo (fonte: equipa de investigação do ISA).	37
Figura 2.10 O sistema CaboGest original.	42
Figura 3.1 Densidade radical (n° de raízes por m^2) ao longo do perfil em função do seu diâmetro (Adaptado de Matos, 1998; Monteiro, 2000).	46
Figura 3.2 Levantamento topográfico do campo dos ensaios, com os seis terraços de contorno delineados. Na parte final dos terraços pode-se observar a vala de recolha de excedentes.	48
Figura 3.3 Comprimento dos sulcos em 1999. As linhas verdes indicam os sulcos utilizados para a realização das medições.	49
Figura 3.4 Régua deslizante utilizada na medição da profundidade de escoamento. No canto superior esquerdo pode-se ver a ponta da régua deslizante.	56
Figura 4.1 Uma caixa de diálogo do CaboGest solar, onde a troca de informação é minimizada.	69
Figura 4.2 Fluxograma simplificado do programa CaboGest	70
Figura 4.3 Malha das células computacionais no plano x-z, para incrementos de t consecutivos.	71

Figura 4.4 Fluxograma simplificado do modelo de simulação CaboGest.	75
Figura 4.5 Esquema representativo do avanço num determinado sulco, mostrando como os tempos de aplicação nos sulcos a jusante influenciam o avanço no referido sulco.	79
Figura 5.1 O controlador CaboGest em 1999, mostrando a écran LCD e o teclado numérico montados na face interna da caixa.	88
Figura 5.2 Pormenor do quadro do controlador CaboGest, mostrando o relógio temporizador semanal ABB ao lado dos disjuntores do quadro e da bomba.	90
Figura 5.3 Relé 5V comandado pela porta paralela do computador, que acciona o motor do cabo-rega.	91
Figura 5.4 A bobine convencional com o diâmetro máximo e mínimo e a nova bobine de diâmetro reduzido.	93
Figura 5.5 Braçadeira de aperto em Teflon.	94
Figura 5.6 Esquerda: Detectores de avanço funcionando com relés RFA. Centro: Emissor e receptor do avanço no sulco R&D. Direita: Sensor de avanço sem fios.	95
Figura 5.7 Tampão colocado no fim do tubo de cabo-rega, e pormenor do êmbolo auto-solta, mostrando o batente que liberta o cabo.	96
Figura 5.8 Esquerda: Mecanismo de protecção contra tensões elevadas sobre o cabo. Direita: Os componentes das válvulas corredeiras e o parafuso de aperto.	98
Figura 5.9 Sistema CaboMatic a 220V, (Esquerda) e solar (Direita).	100
Figura 5.10 Sistema CaboGest solar baseado num programador Cipherlab 520, a funcionar na Estação Experimental da Comenda, Elvas.	102
Figura 4.11 Características dos diferentes tipos de controladores de cabo-rega	103
Figura 6.1 Os caudais calculados e os efectivamente debitados pelos orifícios do cabo-rega, durante a rega 11, em 1998.	111
Figura 6.2 Avanços em sulcos com comprimentos semelhantes e a respectiva simulação pelo CaboGest.	112
Figura 6.3 Profundidade de escoamento e o perímetro submerso no sulco M5, 1998.	114
Figura 6.4 O efeito dos tempos de avanço e recessão sobre a infiltração no sulco M5, 1998.	115
Figura 6.5 Dotação infiltrada ao longo do perfil (0-45 cm de profundidade) do sulco M5. Média de 6 regas, 1999.	116
Figura 6.6 Hidrogramas de quatro regas no sulco M5 em 1998.	118
Figura 6.7 Evolução dos caudais excedentes de cada bloco e do campo todo na rega 4, 1999.	119
Figura 6.8 Variação da eficiência de aplicação média com o comprimento do sulco, 1998.	121
Figura 6.9 Evolução do coeficiente de rugosidade de Manning ao longo de 1999.	121

Figura 6.10 Relação entre a humidade do solo e a dotação recomendada pelo CaboGest (excepto a primeira rega).	123
Figura 6.11 Evolução da humidade do solo ao longo da campanha de 1999 (média do perfil até aos 40 cm de profundidade).	124
Figura 6.12 Relação entre a dotação recomendada pelo CaboGest, e a dotação real aplicada.	124
Figura 6.13 Evolução da infiltrabilidade ao longo da campanha de 1998 (em cima) e 1999 (em baixo). As equações de infiltração estão apresentadas à esquerda.	125
Figura 6.14 Evolução da infiltrabilidade instantânea ao longo da campanha de rega de 1998 e 1999.	126
Figura 6.15 Evolução dos parâmetros da equação de infiltração, k em $\text{l min}^{-a} \text{m}^{-1}$ e a , ao longo das campanhas de rega de 1998 e 1999.	127
Figura 6.16 Variação do coeficiente, k em $\text{l min}^{-a} \text{m}^{-1}$, e do expoente, a da equação de infiltração com o tempo necessário para avançar 220m, tf. (valores de 11 regas com caudais constantes e iguais, 1999)	128
Figura 6.17 Variação do tempo de avanço até ao fim do sulco com o módulo parcelar.	129
Figura 6.18 Variação da relação tm/tf com o caudal aplicado.	130
Figura 6.19 Variação do coeficiente, k , e expoente, a , da equação de infiltração com o caudal, e as respectivas linhas de tendência.	131
Figura 6.20 Representação gráfica das equações de infiltração determinadas com os vários caudais.	132
Figura 6.21 Influência do caudal (Esq.) e do perímetro molhado (Direita) sobre a infiltração.	132
Figura 6.22 Efeito do teor de água do solo e do caudal sobre o tempo de avanço até aos 200 m.	133
Figura 6.23 Hidrogramas de admissão-excedentes sob diferentes condições hídricas. O corte no fornecimento da água em cada ensaio foi realizado 60 minutos depois do fim do avanço: aos 200 minutos no solo seco, aos 166 minutos no solo com teores intermédios e aos 105 minutos no solo saturado.	134
Figura 6.24 Variação da infiltração com o teor de água e com o caudal.	135
Figura 6.25 Variação da eficiência de aplicação com o teor de água e com o módulo parcelar.	145
Figura 6.26 Representação das equações de infiltração obtidas pelo método dos dois pontos, considerando comprimentos progressivamente crescentes de sulco ao longo duma mesma curva de avanço.	138
Figura 6.27 a) Variação do coeficiente a com a velocidade do avanço até ao segundo ponto considerado (lf/tf). b) Influência da posição relativa do primeiro ponto considerado sobre o valor dos parâmetros da equação de infiltração, k em $\text{l min}^{-a} \text{m}^{-1}$, e a .	139
Figura 6.28 a) Esq. Evolução do perfil transversal do sulco M2 (1999) localizado aos 200 m. b) Dir. Evolução do perfil transversal do sulco M2 (1999) localizado aos 80m.	141

Figura 6.29 Evolução média dos perfis de quatro sulcos, aos 20, 80, 140 e 200 m, em 1998	142
Figura 6.30 Evolução média dos perfis de quatro sulcos, aos 20, 80, 140 e 200 m, em 1999	143
Figura 6.31 Evolução média de todos os perfis em 1998 e 99. Verifica-se que em ambos os anos, os perfis transversais tendem para um perfil de equilíbrio parabólico, com deposição de sedimentos no fundo do sulco e erosão das taludes. Em baixo pode-se observar o alargamento dos sulcos com as regas.	144
Figura 6.32 Comparação das velocidades de avanço determinados para os quatro perfis médios. Foram considerados valores de $n = 0,04$ e declives de sulcos de $0,002 \text{ m m}^{-1}$.	146
Figura 6.33 Tempos do deslocamento do êmbolo, tinc em min, calculados para cada sulco com a simulação normal (rega 29) e inversa (rega 27, utilizando a versão 3i).	148
Figura 6.34 Caudais excedentes das regas 29 e 27, realizadas respectivamente com a simulação normal e inversa (Para maior clareza o início das duas regas foi sincronizado).	149
Figura 6.35 Evolução dos caudais debitados pelas janelas no caso de existência de quatro sulcos (sulcos 21-24) com abertura reduzida (Diâmetro equivalente de 15 mm contra os 23 mm). Verifica-se, que a redução do caudal nesses sulcos provoca o aumento do caudal debitado nos sulcos adjacentes.	151
Figura 6.36 Efeito de abertura variada das janelas sobre os caudais debitados. Os volumes foram calculados a partir dos caudais e tempos de aplicação efectivamente observados nas regas 4 e 8, 1999.	153
Figura 6.37 Os hidrogramas debitados pelos orifícios durante as regas 29, 21, e 23, com as aberturas equivalentes de 23 mm, 18 mm e 15 mm respectivamente.	154
Figura 6.38 Poupança de tempo conseguido com a utilização de sistemas CaboGest (total= 165 minutos), excluindo os deslocamentos ao campo (três vezes para o cabo-rega normal e uma vez para os sistemas CaboGest).	158

Índice de Quadros

Quadro 2.1 Gama de valores possíveis de introduzir no controlador	38
Quadro 3.1 Os comprimentos dos sulcos controlo e de medição nos três anos de ensaios.	54
Quadro 3.2 Parâmetros de geometria determinados pelo CaboGest para os perfis do sulco controlo, nos três anos de ensaio.	55
Quadro 3.3 Os sulcos utilizados e os respectivos caudais de projecto ($l \text{ seg}^{-1}$).	62
Quadro 4.1 Algumas linhas do programa que ao atingir um sulco de controlo da rega, recorrendo a um processo iterativo, compara os tempos de avanço simulados, <i>tin</i> , com os observados, <i>tf</i> , e realiza o ajustamento necessário no coef. de rugosidade de Manning, <i>n</i> (designado como o variável <i>Nm</i> no programa).	80
Quadro 4.2 Nessas linhas o programa verifica a hora (TIMER) e calcula as horas e os minutos (H2 e M2). Posteriormente, se tiver passado da meia noite (TIMER ≤ 600), então retira 24 horas aos tempos calculados para o deslocamento do êmbolo (24 horas são 1440 minutos).	82
Quadro 5.1 Tensão sobre o cabo, em Newtons, e o torque sobre o eixo em N m, de acordo com o caudal, declive do tubo e abertura das janelas.	92
Quadro 6.1 Quadro resumo das regas controladas e os parâmetros <i>a</i> e <i>k</i> das equações de infiltração, rugosidade, <i>n</i> , diâmetro equivalente, $\emptyset$, os caudais aplicados no sulco controlo, <i>Qc</i> , tempos de avanço até ao meio e fim do sulco controlo, <i>tm</i> e <i>tf</i> , e a dotação aplicada, <i>G</i> .	108
Quadro 6.2 O Desvio padrão e os desvios médios dos tempos de avanço observados relativamente aos simulados pelo CaboGest (tempos em minutos).	113
Quadro 6.3 A uniformidade de aplicação em 1998 e 1999 expressa através da Uniformidade de Distribuição, UD, Coeficiente de uniformidade de Christiansen, Cu, e Coeficiente de Variação, CV.	117
Quadro 6.4 A Eficiência de aplicação, Ea, de 15 sulcos em 1998, e Eficiência global de algumas regas em 1999.	120
Quadro 6.5 As dotação teóricas e as úteis aplicadas em algumas regas, 1999.	123
Quadro 6.6 Coeficiente e expoente da equação de infiltração ao fim de algumas regas.	128
Quadro 6.7 Tempos de avanço até aos 100 e 200 m, <i>tm</i> e <i>tf</i> , os parâmetros da equações de infiltração, <i>k</i> e <i>a</i> , os perímetros molhados a cabeceira do sulco, <i>pm</i> , e os coeficientes de rugosidade de Manning, <i>n</i> , determinados pelo CaboGest para os vários módulos parcelares.	129
Quadro 6.8 Eficiência de aplicação (em percentagem) para os diferentes módulos parcelares (em $l \text{ s}^{-1}$) e teores de água.	136
Quadro 6.9 Pares de pontos considerados e os respectivos valores obtidos.	137
Quadro 6.10 Efeito da localização do primeiro ponto, <i>lm</i> sobre o coeficiente e expoente da equação de Kostiakov.	140

Quadro 6.11 Transporte de sedimentos para fora do campo por unidade de área (kg ha^{-1}). Fonte: Martins <i>et al.</i> (2000a).	145
Quadro 6.12 Coeficientes e expoentes das equações da geometria do sulco e da velocidade de avanço nos anos 1998 e 1999, no início da campanha e após várias regas.	146
Quadro 6.13 Resumo de algumas características das regas 27 e 29.	149
Quadro 6.14 A influência da abertura das janelas sobre a velocidade média de avanço, a dotação real e a Eficiência de aplicação.	155
Quadro 6.15 Produção de grão comercial (14,5% de humidade) em 1999.	156
Quadro 6.16 Tempo despendido por rega com as diversas operações necessários ao funcionamento de vários sistemas cabo-rega, em minutos.	158
Quadro 6.17 Custos totais e por hectare, em Euros, dos sistemas cabo-rega (campo c/ 4 ha).	159
Quadro 6.18 Encargos por hectare com vários sistemas de rega a título comparativo, considerando um campo de 4 ha. Valores em Euros.	160

Índice de símbolos

a	expoente de equação da infiltração	-
a	coeficiente da equação da geometria do sulco	-
A	área da secção transversal,	m^2
$\bar{A}$	área média da secção transversal	m^2
A_0	área do perfil transversal, para o caudal máximo	m^2
a_1	constante da equação da largura do sulco em função da altura	-
a_2	constante da equação da largura do sulco em função da altura	-
c	volume de água infiltrada (SCS)	$l\ m^{-1}$
c	condutividade do solo saturado	$cm\ h^{-1}$
C	coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams	-
C_1	coeficiente da eq. da área da secção transversal em função do caudal	-
C_2	expoente da eq. da área da secção transversal em função do caudal	-
Cd	coeficiente de descarga, normalmente 0,65	-
Cu	Coeficiente de uniformidade de Christiansen	-
D	diâmetro equivalente das janelas, mm (O diâmetro equivalente é o diâmetro de um círculo com uma área igual ao da janela)	mm
$\bar{D}$	dotação média infiltrada	mm
Dc	taxa máxima de destacamento	$g\ l^{-1}$
Di	diâmetro interno do tubo	mm
Dr	taxa actual de destacamento	$g\ l^{-1}$
dt	intervalo do tempo	min
dx	elemento do comprimento	m
EA	eficiência de aplicação	%
$E(s)$	espaço percorrido no incremento; comprimento da célula s	m
F	factor de correcção de Kiefer	-
f_0	taxa de infiltração estabilizada	$l\ min^{-1}\ m^{-1}$
Fmm	distância entre os orifícios	mm
g	aceleração da gravidade	$m\ s^{-2}$
G	dotação recomendada pelo sistema	mm
h	carga piezométrica no orifício	mm
i	taxa de infiltração	$l\ min^{-1}\ m^{-1}$
k	coeficiente de equação da infiltração	$l\ min^{-a}\ m^{-1}$
n	coeficiente de rugosidade de Manning	$m^{-1/3}\ s^1$
n	número de valores observados	-
Nm	coeficiente de rugosidade de Manning	$m^{-1/3}\ s^1$
p	coeficientes da equação do avanço	-
Pm	perímetro molhado	m
Pm_0	perímetro molhado para o caudal máximo	m
Q	caudal	$m^3\ s^{-1}$
Q	caudal admitido no cabo-rega	$l\ min^{-1}$
Q_0	caudal a entrada do sulco	$m^3\ min^{-1}$
Qc	caudal debitado no sulco controlo	$l\ s^{-1}$
$Q_{c(i)}$	caudal simulado para o orifício i	$l\ min^{-1}$
$Q_{(i)}$	caudal corrigido para o orifício i	$l\ min^{-1}$
$Q_{(s+1)}$	caudal disponível para o incremento seguinte	$m^3\ min^{-1}$
Qt	capacidade de transporte do tubo	$l\ min^{-1}$
r	expoente da equação do avanço	-
R	raio hidráulico ($R=A\ Pm^{-1}$)	$m^2\ m^{-1}$

s	“sorptivity” da equação de infiltração de Philip	$\text{l min}^{-0,5} \text{ m}^{-1}$
S	declive do atrito	m m^{-1}
S_0	declive do terreno	m m^{-1}
S_f	declive da superfície livre da água	m m^{-1}
t	tempo de infiltração	min
T	largura do sulco	m
t_a	tempo desde o início da rega	min
T_c	capacidade máxima de transporte	g l^{-1}
t_f	tempo de avanço até ao segundo ponto do sulco	min
t_m	tempo de avanço até ao primeiro ponto do sulco	min
t_o	tempo de avanço observado	min
T_f	largura da secção do sulco a meia altura	m
T_m	largura máxima da secção do sulco	m
t_{i+1}	incremento de tempo seguinte	min
t_{inc}	tempo desde o início da rega no sulco	min
T_{int}	intervalo de tempo entre dois sulcos	min
Tr	teor actual em sedimentos	g l^{-1}
t_s	tempo de avanço simulado	min
t_s	tempo de avanço até ao ponto s	min
t_x	tempo de avanço para o ponto x	min
u	expoente da equação da geometria do sulco	-
UD	Uniformidade de distribuição	-
V	velocidade média	m min^{-1}
V	volts	v
Vel	velocidade do avanço	m min^{-1}
$V_{inf\text{ttl}}$	infiltração acumulada em todos os incrementos	m^3
$V_{inf(i)}$	volume infiltrado em cada instante na célula i	m^3
V_m	volume infiltrado durante o avanço até ao primeiro ponto do sulco	m^3
V_l	volume infiltrado durante o avanço até ao segundo ponto do sulco	m^3
V_{sup}	volume armazenado superficialmente	m^3
$V_{sup\text{ttl}}$	armazenamento superficial em todos os incrementos do sulco	m^3
V_{ttl}	volume total admitido no sulco	m^3
x	distância percorrida	m
y	altura desde o fundo do sulco	m
y	profundidade do escoamento	m
y_f	profundidade a meio da secção do sulco	m
y_m	profundidade máxima da secção do sulco	m
z	volume infiltrado por unidade de comprimento do sulco	l m^{-1}
Z	profundidade da infiltração acumulada	mm
θ	teor de humidade do solo	m m^{-1}
δ	desvio padrão das profundidades de água acumuladas	
σ_z	factor de forma subsuperficial	-
σ_y	factor de forma de armazenamento superficial, (0,7 a 0,8)	-
γ_1	coeficiente da equação do perímetro molhado em função da altura	-
γ_2	expoente da equação do perímetro molhado em função da altura	-
τ	tempo de infiltração	min
σ_1	coeficiente da equação da área da secção transversal em função da altura	-
σ_2	expoente da equação da área da secção transversal em função da altura	-
$\varnothing$	diâmetro equivalente das janelas,	mm

Capítulo I

Introdução e objectivos

1 Introdução e objectivos

1.1 Introdução

Nos últimos dez anos em Portugal, a investigação sobre o cabo-rega tem sido conduzida principalmente pelas equipas do Instituto Superior de Agronomia e da Universidade de Évora, que também se têm encarregue da sua divulgação e demonstração junto dos agricultores, organizando regularmente campos experimentais e de demonstração. Porém, em abono da verdade, deve ser referido que apesar de todo o esforço despendido pelas duas equipas, são poucos os agricultores que hoje operam sistemas cabo-rega. Mesmo nos Estados Unidos, onde o sistema foi criado e onde alcançou o seu maior êxito, é hoje reduzido o número de agricultores que utilizam este sistema (Kincaid e Trout, comunicação pessoal, 2000).

Talvez valha a pena debruçar um pouco sobre as razões mais aparentes da falta de sucesso deste sistema que indiscutivelmente apresenta custos de operação e manutenção mais baixos do que sistemas de aspersão ou gota-a-gota. As razões principais baseiam-se na convicção generalizada de que sistemas de rega de superfície exigem muita mão-de-obra e que são menos eficientes no uso da água do que os outros sistemas de rega. Por outro lado, na actual conjuntura económica, o custo reduzido da energia, aliado a subsídios substanciais à aquisição de equipamentos de rega, reduzem as vantagens económicas da rega de superfície, que são o seu principal trunfo. Pode-se também apontar a pouca fiabilidade dos primeiros sistemas cabo-rega instalados que, devido à necessidade de supervisão constante, acabavam por não representar uma poupança significativa em mão-de-obra.

A instalação de sistemas eficientes de rega de superfície exige trabalhos de engenharia e estudos ao nível da parcela, que, para empresas comerciais, não são normalmente rentabilizados pelo baixo valor do equipamento efectivamente vendido. Em Portugal, existe uma única empresa que comercializa material específico para a rega de superfície, incluindo o cabo-rega, a qual, pelas razões já expostas, se limita a satisfazer os pedidos dos agricultores, não possuindo a capacidade de realizar estudos ou projectos de rega.

Para o relançamento do cabo-rega são necessárias melhorias que possam efectivamente automatizar o processo de rega e aumentar a fiabilidade dos sistemas, reduzindo ao mínimo a intervenção humana.

1.2 Objectivos

O presente trabalho encontra os seus objectivos principais delineados em vários trabalhos importantes publicados nos últimos vinte anos, onde os autores manifestam o interesse e a viabilidade de desenvolvimento de sistemas de rega de superfície automáticos com alguma forma de recolha de informação sobre a rega (Kemper *et al.*, 1981; Serralheiro, 1988; Walker e Busman, 1990; Pereira, 1996). Os primeiros autores prevêem que possam ser desenvolvidos controladores electrónicos sofisticados para sistemas cabo-rega que adaptem os volumes aplicados às variações do comprimento dos sulcos. Por outro lado, prevêem que os controladores possam responder à informação recolhida por sensores de água próximo do fim dos sulcos e ajustar a velocidade do êmbolo de modo a minimizar os excedentes. Walker e Busman (1990), consideram que as portas estão abertas para o desenvolvimento de sistemas automáticos que utilizam um modelo de simulação para o controlo da rega.

Como resposta, e estimulados pelo desenvolvimento tecnológico dos últimos anos, diversos autores (Reddell e Latimer, 1987; Latimer e Reddell, 1989; Humpherys e Trout, 1990; Katopodes e Tang, 1990; Fekersillassie e Eisenhauer 2000a e 2000b) têm apresentado sistemas automáticos de rega de superfície com retorno, em tempo real, da informação do campo, muitos dos quais bastante interessantes. Shahidian (1996) também desenvolveu um método de gestão do cabo-rega em tempo real, CaboGest, que, baseado

na infiltrabilidade do solo no início da rega, simula o avanço em cada um dos sulcos do campo e ajusta os tempos de aplicação, procurando assim maximizar a eficiência de utilização da água.

No entanto, a preocupação principal destes autores tem sido a de demonstrar a viabilidade técnico-científica dos sistemas propostos e, apesar dos resultados encorajadores, têm avançado pouco no desenvolvimento do equipamento necessário para a implantação destes sistemas ao nível da parcela e a sua utilização efectiva pelo agricultor.

No presente trabalho pretende-se aperfeiçoar o método e programa da gestão de rega, CaboGest, no sentido de maior rigor e poupança de água, adicionando simultaneamente as rotinas necessárias para o controlo efectivo e automatizado do processo da rega no campo. Pretende-se também desenvolver simultaneamente vários sistemas robustos de cabo-rega com e sem retorno de informação do campo, e todo um conjunto de equipamento para a sua automação, procurando aumentar a sua fiabilidade e autonomia e minimizar a necessidade de intervenção humana durante a rega. É dada atenção especial à simplificação do sistema, procurando que o equipamento possa ser operado por pessoas com qualificações mais reduzidas.

Para a concretização dos objectivos propostos são realizadas diversas regas num campo organizado em blocos de contorno, onde o equipamento e o modelo serão experimentados sob condições reais. Aproveitando esse trabalho serão, também estudados alguns aspectos teóricos relacionados com a infiltração em solos argiluiados e a evolução dos perfis transversais dos sulcos.

Espera-se que este trabalho possa ser mais um contributo para a automação dos sistemas cabo-rega, com a redução significativa das necessidades de supervisão humana e obtenção de níveis de eficiência elevados, de modo a obviar as duas críticas mais correntes já referidas e incrementar o uso destes sistemas pelos agricultores.

Capítulo II

Revisão Bibliográfica



2 Revisão bibliográfica

Partindo de alguns trabalhos inovadores no final da década de setenta como os de Strelkoff e Katapodes (1977), Fangemeier e Ramsey (1978), Stringham e Keller (1979), vários autores continuaram na década de oitenta estes trabalhos e foram prolíficos em avanços científicos na teoria de infiltração, na modelação do escoamento e no desenvolvimento de sistemas de rega de superfície. Nos Estados Unidos, Souza (1981), Strelkoff e Clemmens (1981), Kemper (1981), Elliot e Walker (1982), Haie (1984), Bautista e Wallender (1985) e Trout e Kincaid (1989), e em Portugal Serralheiro (1988), Tabuada (1989) e Sousa (1990) encorajados pela massificação de sistemas computacionais e pela crise energética do início da década, deram um impulso significativo à teoria e prática da rega de superfície. Os diversos modelos matemáticos e programas concebidos para a simulação da rega e a previsão da sua qualidade, a rega com sulcos longos, o desenvolvimento da rega intermitente¹ e do cabo-rega são os frutos mais visíveis dessa época. A década que se seguiu caracterizou-se pelo aprofundamento, aperfeiçoamento e desenvolvimento das diversas frentes de trabalho já iniciadas por estes autores, com grande ênfase na modelação matemática do escoamento.

2.1 Características da infiltração e do escoamento em sulcos

Na rega por sulcos, a água é introduzida em canais paralelos, onde flui por gravidade, da cabeceira até ao fim destes, havendo infiltração lateral e vertical no solo. Numa primeira fase, a água avança sobre o solo seco, ocupando a parcela. Depois, existe normalmente uma fase de manutenção, em que a água infiltra em toda a extensão dos sulcos. Quando o módulo parcelar é cortado, inicia-se a fase de recessão, normalmente de montante para jusante dos sulcos.

¹ A rega intermitente foi apresentada pela primeira vez por Stringham e Keller, em 1979, no entanto o seu desenvolvimento teve lugar na década de 80.

Sob condições uniformes, presumindo um perfil regular do sulco, pode-se estabelecer uma relação generalizada entre o caudal aplicado, a geometria do sulco e o seu declive. Essa relação pode ser expressa através da equação do fluxo uniforme de Manning:

$$Q = \left(\frac{1}{n} \right) A R^{2/3} S^{1/2} \quad (2.1)$$

sendo,

Q - Caudal, $m^3 \text{seg}^{-1}$;

A - área da secção transversal, m^2 ;

R - raio hidráulico ($R = A / P$) em m ;

S - declive em $m \text{ m}^{-1}$.

Apesar desta equação ter sido deduzida originalmente para o fluxo em canais com perfis trapezoidais, o seu uso tem sido generalizado para rega em sulcos, com bastante êxito.

2.1.1 O perímetro molhado e a infiltração

A profundidade de escoamento influencia a superfície submersa e consequentemente deve também influenciar o volume infiltrado por unidade de comprimento do sulco (Strelkoff e Souza, 1984; Izadi e Wallender, 1985; Serralheiro, 1988, 1996). Desde que Fangmeier e Ramsey, no já clássico ensaio de 1978, mediram diminuições quase proporcionais da infiltração com o perímetro molhado, utilizando a diminuição do caudal em sulcos com declives e secções transversais precisos, diversos autores têm concluído que a taxa de infiltração e o volume infiltrado variam quase linearmente com o perímetro molhado (Strelkoff e Souza, 1984; Samani *et al.*, 1985), facto que já fora proposto pelo Soil Conservation Service, que também assume que a infiltração aumenta linearmente com o perímetro molhado (USDA-SCS, 1983).

No entanto, a correlação existente entre o perímetro molhado e a taxa de infiltração diminui durante a rega, pois a redução do gradiente do potencial matricial reduz a magnitude de fluxo horizontal, sendo frequentemente constatado que a relação linear entre a infiltração acumulada e o perímetro molhado obtido em sulcos estagnados não é reproduzível em condições de escoamento (Izadi e Wallender, 1985; Trout, 1992).

Do exposto, e de acordo com Samani *et al.* (1985), a uniformidade de rega é afectada não só pela diminuição do tempo de infiltração ao longo do sulco, mas também pela diminuição da profundidade da toalha de água a jusante.

Strelkoff e Souza (1984) avaliaram seis métodos diferentes de modelar o efeito da variação da profundidade de escoamento sobre a infiltração, sendo método mais complexo o que considerava o tempo de infiltração em cada troço do perímetro molhado. No entanto, eles concluem que este método não é mais preciso do que aquele que considera o perímetro molhado como um todo. Nesta linha de trabalho, Serralheiro (1988), usando dados obtidos em infiltrómetros, verifica a linearidade da dependência da infiltração em relação ao perímetro molhado e estuda a possibilidade de uma equação de infiltração determinada com um perímetro molhado conhecido ser generalizada para quaisquer valores de perímetro molhado. No entanto, quando incorpora a equação da infiltração, assim generalizada, num modelo de simulação da rega, o ajustamento entre valores observados e simulados não melhora em relação à simulação com a equação não generalizada; segundo o mesmo autor, esta não melhoria dever-se-á à dificuldade de definir, na simulação, o valor de perímetro molhado representativo de toda a rega. Outra possível razão é o facto das fendas e irregularidades na superfície do solo poderem dominar o processo de infiltração no início da rega, mascarando a influência do perímetro molhado (Izadi e Wallender, 1985).

É hoje suficientemente aceite que a relação entre o perímetro molhado e a profundidade de escoamento é bem descrita por uma equação do tipo potência, que pode ser obtida através de observação do perímetro molhado em função da profundidade de escoamento em dois ou mais pontos. Strelkoff e Clemmens (2000), analisam os diversos métodos de obtenção dessa equação, concluindo que os métodos numéricos correntes resultam num erro de 3-10%. Como alternativa, apresentam um método de interpolação não-linear, que resulta num erro inferior a 1%.

2.1.2 Rugosidade do sulco

A irregularidade da superfície do sulco, denominada rugosidade superficial, deve-se ao formato natural dos agregados, às operações culturais, ou acção de plantas e animais. Essa rugosidade é normalmente expressa através do coeficiente de rugosidade de Manning, n , e tem influência directa sobre as características do escoamento e

consequentemente sobre a infiltração. Ao longo da rega, devido à acção do escoamento, a rugosidade diminui e a geometria torna-se mais eficiente, ou seja, adquire um formato hidraulicamente mais favorável (Izadi e Wallender, 1985). A redução da rugosidade, tal como o aumento do declive, tem um efeito negativo sobre a infiltração, pois não só aumenta a velocidade de escoamento como, ao diminuir a área do escoamento, diminui também a superfície infiltrante. Serralheiro (1988), trabalhando em solos argiluvitados obteve valores de n de 0,073 e 0,055 para a primeira e segunda rega, respectivamente, enquanto que Renault e Wallender (1997) observaram valores de 0,06, 0,04 e 0,03 para as três primeiras regas. Normalmente, para a sua determinação, aplicam-se os parâmetros de escoamento observados durante a rega na equação do escoamento uniforme de Manning, resolvendo-a em ordem a n (Fangmeier e Ramsey, 1978; Serralheiro, 1988).

Geralmente aceita-se que o valor de n é uma característica inerente da superfície, independente da profundidade de escoamento. No entanto, à medida que esta diminui, a rugosidade desempenha um papel progressivamente maior sobre o escoamento, ou seja, o efeito da rugosidade sobre o escoamento aumenta de escala (Bassett *et al.*, 1980).

2.1.3 Evolução dos perfis transversais

Nas paredes do sulco é o efeito combinado das forças de atrito, resultantes do movimento da água e das forças gravitacionais, o responsável pela desagregação e arrastamento das partículas do solo. As paredes do sulco são escavadas pela acção do escoamento, diminuindo a estabilidade das zonas do perfil acima do perímetro submerso que, ao serem humedecidas por capilaridade, e pela acção do seu próprio peso, desprendem-se e precipitam para o fundo do sulco, onde rapidamente se desagregam, pelo impacto da queda e pela acção desagregante da água ao ser absorvida pelos torrões que provoca a quebra da coesão entre as partículas (Brown *et al.*, 1988). Os materiais que se desprendem, ou são prontamente incorporados na corrente, no caso de partículas mais finas, ou sofrem um pequeno transporte, ou no caso de partículas mais grosseiras e de agregados, permanecem no mesmo lugar, originando estratos sedimentares ao longo do sulco e dando origem a uma secção transversal mais larga e menos profunda (Foster e Lane, 1983 citados por Trout *et al.*, 1993). Assim, o perfil transversal do sulco evolui progressivamente de uma forma original, conseguida mecanicamente, para uma forma

mais estável, em que a força de atrito do escoamento é menor que a força crítica de atrito.

Nos casos em que há uma diminuição brusca de declive no sulco, diminuirá também a sua capacidade de transporte, verificando-se a deposição de sedimentos nessa mesma zona. Contrariamente, nas situações em que o declive aumenta no sulco, verifica-se um aumento da capacidade de transporte e erosiva do escoamento e, como tal, da taxa de erosão, situação que se prolonga até a redução do caudal mais a jusante provocar a deposição dos sedimentos transportados (Hairsine, 1992; Trout *et al.*, 1993; Owoputi e Stolte, 1995). A combinação destes processos de transporte e deposição acaba por regularizar o declive do sulco o que, segundo Trout *et al.* (1993), constitui o “nivelamento hidráulico”, em que o solo é destacado de zonas mais declivosas e depositado nas zonas mais planas.

Em situações de declive suave ao longo do sulco, parte do solo que se destaca das paredes do sulco vai-se depositando no fundo, face à progressiva insuficiente capacidade de transporte do escoamento, facto que afecta a distribuição de diferentes grupos texturais ao longo do sulco. Nestes sulcos, é a capacidade de transporte e não o destacamento o factor que limita a perda de solo nos sulcos (Meyer *et al.*, 1993).

Existe uma relação inversa entre a capacidade de destacamento do escoamento e o seu teor em sedimentos. À medida que o teor de sedimentos no escoamento aumenta, aumenta a energia despendida para os transportar e, conseqüentemente menos energia está disponível para destacar outras partículas (Moore e Burch, 1986). Foster e Meyer (1972) exprimem esta relação da seguinte forma:

$$\frac{D_r}{D_c} + \frac{T_r}{T_c} = 1 \quad (2.2)$$

onde ***Dr*** e ***Dc*** são respectivamente a taxa actual de destacamento e a taxa máxima de destacamento, enquanto que ***Tr*** e ***Tc*** são respectivamente o teor actual em sedimentos e a capacidade máxima de transporte.

Ao longo do sulco o escoamento diminui à medida que a água se infiltra, pelo que tanto o transporte de sedimentos como a capacidade de destacamento vão diminuindo progressivamente. Trout (1996) observa que a maior parte da erosão tem lugar no primeiro quarto do sulco, e grande parte do solo erodido (50 e 75% para declives de 1,33 e 0,52%, respectivamente) é depositado na segunda metade do sulco.

O volume total de excedentes no fim do sulco é também um factor determinante na percentagem de sedimentos que são transportados para fora do campo. Trout (1996) observa aumentos de 30 a 50% de erosão, quando o volume de excedentes aumenta apenas 20%. Assim, os sulcos bloqueados, em que o volume de excedentes é zero, podem minimizar o transporte de sedimentos para fora do campo.

2.1.4 Formação da crosta

A deposição das partículas do solo e a sua consolidação, entre as regas, produz à superfície do solo uma camada fina de partículas dispersas, com maior densidade aparente, e sem estrutura, denominada crosta. De acordo com as observações de Medina *et al.* (1998) e Segern e Trout (1991) esta camada apresenta uma condutividade hidráulica inferior à do solo subjacente, reduzindo a taxa de infiltração. Devido à sua compacidade, a energia necessária para a sua remoção é maior do que aquela necessária para remover o solo original. Estes processos simultâneos de redução de infiltrabilidade e formação duma superfície lisa no sulco, aumentam a velocidade de escoamento, o que por sua vez pode produzir maior destacamento.

O teor inicial de água do solo também influencia estes processos, pois, sob iguais condições de escoamento, o aumento do teor de água enfraquece os agregados e resulta em maior destruição dos mesmos, com formação de crosta e menores taxas de infiltração (Gollani *et al.*, 1991; Wangemann *et al.*, 2000). Como consequência conjugada destes factores, o perfil transversal dos sulcos tem uma evolução significativa na primeira rega, ligeira na segunda e praticamente estabiliza a partir da terceira rega, em que a crosta já se encontra estabelecida (Trout, 1996; Miguens, 1997).

2.1.5 Velocidade de escoamento e a taxa de infiltração

De uma forma geral, enquanto a velocidade do escoamento for pequena, ela não exerce nenhuma influência sobre a taxa de infiltração no sulco. A partir do momento em que atinge um valor de atrito crítico, com suficiente energia para mover as partículas do solo, inicia-se o processo de destruição dos agregados e a formação da crosta de deposição, razão pela qual é geralmente aceite que a infiltração no sulco diminui com o aumento da velocidade do escoamento (Eisenhauer *et al.*, 1983; Brawn *et al.*, 1988).

2.2 Modelação matemática da infiltração e do escoamento

2.2.1 Equações da Infiltração

A infiltração da água no solo pode ser descrita através de várias equações de infiltração algébricas. Provavelmente a mais comum (Elliott e Eisenhauer, 1983; Katopodes *et al.*, 1990; Or e Silva, 1996) é a de Kostiakov:

$$Z = k t^a \quad (2.3)$$

em que Z é a profundidade da infiltração acumulada, ou volume por unidade de comprimento, t é o tempo de infiltração, e k e a são constantes empíricas. Esta equação é relativamente mais fácil de obter (Fangmeier e Ramsey 1978; Serralheiro, 1988), e fornece uma descrição adequada da infiltração, desde que a profundidade de escoamento não varie muito ao longo do sulco e da rega, e as constantes k e a sejam determinadas para caudais semelhantes àqueles para os quais se irá prever a infiltração (Strelkoff e Souza, 1984; Samani *et al.*, 1985). Quando os tempos de infiltração se prolongam, esta equação prevê que a taxa de infiltração se aproxime de zero, o que pode não se verificar em todos os tipos de solos. Por outro lado, esta equação sistematicamente sub-estima a infiltração para tempos maiores do que aqueles para os quais foi determinada (Renault e Wallender, 1997). Assim, e para obviar estes problemas, é acrescentado à equação o parâmetro f_0 que representa a taxa de infiltração estabilizada, passando a equação a ser denominada Kostiakov-Lewis, ou Kostiakov Modificada:

$$Z = k t^a + f_0 t \quad (2.4)$$

Philip (1957) propõe uma equação semelhante, e semi-empírica, incorporando um parâmetro s denominado “sorptivity”, que é característico do solo e varia com o seu teor de água, e c , que é a condutividade hidráulica do solo saturado:

$$Z = st^{0.5} + ct \quad (2.5)$$

Para o SCS (1979), c representa o volume de água infiltrada inicialmente e o seu valor pode ser fixado em 7 mm para a maioria dos solos:

$$Z = kt^a + c \quad (2.6)$$

Naturalmente, todas estas equações são válidas, cada uma representando um determinado comportamento da infiltração, devendo-se escolher para cada tipo de solo aquela que melhor se ajusta às suas características. Após analisar vinte regas completas em solos Argiluvitados, Serralheiro (1988), conclui que a equação do tipo Kostiakov, determinada pelo método de balanço volumétrico, é aquela que melhor descreve a infiltração nesses solos.

Na equação de Kostiakov o expoente a representa o declive da recta de ajustamento aos valores experimentais, pelo que determina a configuração da curva de infiltração acumulada afectando, consequentemente, a forma da curva de avanço (Monteiro, 1995a). Geralmente, este expoente apresenta uma razoável estabilidade, com gradual aumento ao longo da estação de rega. Sousa (1990) verificou que uma incorrecta avaliação do valor de a não influencia grandemente as simulações de avanço.

O coeficiente k corresponde ao valor de infiltração na primeira unidade de tempo e, de certo modo, traduz o processo de infiltração na sua fase inicial, pelo que uma incorrecta avaliação do seu valor poderá ocasionar importantes erros na predição da rega.

2.2.2 Métodos para determinação das equações da infiltração

A equação da infiltração é simultaneamente um dos parâmetros mais críticos da rega de superfície e um dos mais difíceis de determinar com precisão pelo que, durante muitos anos, a preocupação da sua correcta determinação tem ocupado um lugar de

destaque na investigação. Inicialmente, a maioria dos autores optou por métodos experimentais tais como infiltrómetro de duplo anel (Haise *et al.*, 1956; Merriam e Keller, 1978), infiltrómetro de sulco bloqueado (Bondurant, 1957) ou de sulco com retorno (Milano, 1982 citado por Walker e Skogerboe, 1987), para a sua determinação, medindo directamente a infiltração ao longo do tempo.

Bautista e Wallender (1985) compararam os dados obtidos através destes três métodos e chegaram à conclusão que o método do infiltrómetro de sulco com retorno é preferível, pois é aquele que mais se aproxima das condições de rega.

Entretanto, Elliot e Walker (1982) também realizaram um grande número de determinações de taxas de infiltração utilizando infiltrómetros de duplo-anel e de sulco e chegaram à conclusão que nenhum deles fornecia uma simulação satisfatória da infiltração em sulcos. Os mesmos autores sugerem que, para uma simulação satisfatória do avanço, a metodologia mais efectiva de avaliação da infiltração é a medição das taxas de avanço, da secção hidráulica e dos volumes de excedentes. Com base nestes dados, aconselham a utilização do método do balanço volumétrico e o método dos dois pontos para a determinação dos parâmetros da equação de infiltração.

Dada a grande receptividade ao método do balanço volumétrico, e o desenvolvimento da modelação matemática do escoamento, tem-se cada vez mais vindo a optar por métodos analíticos para a determinação dos parâmetros das equações de infiltração (Smerdon *et al.*, 1988; Clemmens e Keats, 1992; Hibbs *et al.*, 1992; Fekersillassie e Eisenhauer, 2000a). Dada a natureza essencialmente prática da questão, os investigadores têm também procurado reduzir o número de parâmetros observados no campo e simplificar os seus métodos. DeTar (1989) desenvolveu uma metodologia bastante simples para a determinação da equação de infiltração do tipo Kostiakov a partir dos dados de avanço, utilizando o conceito do tempo de infiltração médio, tendo obtido resultados satisfatórios. Shepard *et al.* (1993) adaptaram o método dos dois pontos à equação de Philip e aproveitando o facto do expoente estar fixado em 0,5 desenvolveram o método de um ponto para a determinação dos parâmetros da equação de infiltração, reduzindo assim o número de dados de avanço necessários.

2.2.2.1 O Método do balanço volumétrico

De acordo com o método do balanço volumétrico, o volume total aplicado é igual ao somatório do volume armazenado superficialmente com o volume infiltrado. Pressupondo uma equação tipo potência para o avanço,

$$x = p t^r \quad (2.7)$$

obtém-se:

$$Q_0 t = \sigma y A_0 x + \sigma z k t^a x + \frac{f_0 t x}{1+r} \quad (2.8)$$

sendo,

- Q_0 - caudal de entrada, $\text{m}^3 \text{min}^{-1}$;
- σz - factor de forma subsuperficial;
- t - tempo desde o início da rega, min;
- σy - factor de forma de armazenamento superficial, que é definido como uma constante (0,7 a 0,8);
- f_0 - taxa de infiltração estabilizada em unidades de volume por unidade de comprimento por unidade de tempo;
- p e r - coeficiente e expoente da equação do avanço;
- x - distância percorrida, m.

Christiansen *et al.* (1966) obtiveram os parâmetros da equação de Kostiakov-Lewis utilizando o balanço volumétrico, enquanto que Wilke (1973) utilizou um método baseado em dados relativos a dois pontos para determinar a equação do avanço. Elliot e Walker (1982), e Walker e Skogerboe (1987) aplicaram este método ao balanço volumétrico, o que, como já foi referido, ficou conhecido como o método dos dois pontos.

Esta metodologia foi inicialmente elaborada para a determinação de equações do tipo Kostiakov modificado ou Kostiakov-Lewis. No entanto, segundo Serralheiro (1988) a metodologia pode ser utilizada para a determinação dos parâmetros da equação de Kostiakov fazendo-se $f_0 = 0$. Portanto, desprezando o último membro da equação 2.8 obtém-se:

$$\sigma z k t^a x = Q_0 t - \sigma y A_0 x \quad (2.9)$$

ou seja:

$$k t^a = \frac{1}{\sigma z} \left(\frac{Q_0 t}{x} - \sigma y A_0 \right) \quad (2.10)$$

2.2.2.2 Determinação da equação de Kostiakov pelo método de Elliot e Walker

O método de balanço volumétrico, proposto por Elliot e Walker (1982) requer as equações de geometria do sulco (largura em função da altura desde o fundo do sulco, perímetro molhado em função da altura), e sobretudo, a área do escoamento que multiplicada pelo comprimento e um factor de forma, fornece o armazenamento superficial. As diversas equações necessárias são determinadas recorrendo ao método dos dois pontos. Por outro lado, o volume infiltrado pode ser estimado a partir do factor de forma subsuperficial, σz .

Os vários passos necessários para a obtenção da equação da infiltração utilizando este método se encontram resumidamente descritas a seguir:

a) Determinação da equação da largura do sulco em função da altura desde o fundo do mesmo, pelo método dos dois pontos:

$$T = a_1 y^{a_2} \quad (2.11)$$

com:

$$a_2 = \frac{\ln\left(\frac{T_f}{T_m}\right)}{\ln\left(\frac{y_f}{y_m}\right)} \quad \text{e} \quad a_1 = \frac{T_f}{(y_f)^{a_2}} \quad (2.12 \text{ e } 2.13)$$

sendo,

- T - largura do sulco, m;
- y - altura desde o fundo do sulco, m;
- a_1 e a_2 - coeficiente e expoente da equação;
- T_f, T_m - largura máxima e do meio, respectivamente, m;
- y_f, y_m - profundidade máxima e do meio, respectivamente, m.

b) Determinação da equação da área da secção transversal em função da altura desde o fundo do sulco, utilizando os coeficientes da equação anterior:

$$A = \sigma_1 y^{\sigma_2} \quad (2.14)$$

com: $\sigma_1 = \frac{a_1}{a_2 + 1}$ e $\sigma_2 = a_2 + 1$ (2.15 e 2.16)

sendo,

A - área da secção transversal, m²;
 σ_1 e σ_2 - coeficiente e expoente da equação.

c) Determinação da equação do perímetro molhado, utilizando o método dos dois pontos, com o perímetro molhado calculado a partir dos pares de dados referentes ao perfil transversal do sulco:

$$Pm = \gamma_1 y^{\gamma_2} \quad (2.17)$$

com: $Pm|_y = \sum_{i=1}^y \left\{ 2 \left[(y_i - y_{i-1})^2 + [0.5(T_i - T_{i-1})]^2 \right]^{0.5} \right\}$ (2.18)

sendo,

Pm - perímetro molhado, m;
 γ_1 e γ_2 - coeficiente e expoente da equação.

d) Determinação da área do perfil transversal, para o caudal máximo A_0 , utilizando uma derivação da equação de Manning Strickler:

$$A_0 = C_1 \left(\frac{Q_0 n}{60 \sqrt{S_0}} \right)^{C_2} \quad (2.19)$$

com: $C_2 = \frac{3\sigma_2}{5\sigma_2 - 2\gamma_2}$ e $C_1 = \sigma_1 \left(\frac{\gamma_1^{0.67}}{\sigma_1^{1.67}} \right)$ (2.20 e 2.21)

sendo,

S_0 - declive do terreno, m m⁻¹;
 C_1 e C_2 - coeficiente e expoente da equação;
 n - coeficiente de rugosidade.

e) Determinação da equação do avanço em função do tempo desde o início da rega, pelo método dos dois pontos:

$$x = p t_x^r \quad (2.22)$$

sendo,

- x - distância percorrida, m;
- t_x - tempo de avanço para o ponto x , isto é, o ponto à distância x do início do sulco, min;
- p e r - coeficiente e expoente da equação.

f) A equação da infiltração propriamente dita, em função do tempo desde o início da rega, pelo método dos dois pontos:

$$Z' = k' t^a \quad (2.23)$$

com:

$$a = \frac{\ln\left(\frac{V_f}{V_m}\right)}{\ln\left(\frac{t_f}{t_m}\right)} \quad \text{e} \quad k' = \frac{V_f}{t_f^a} \quad (2.24 \text{ e } 2.25)$$

sendo,

- V_m, V_f - volume infiltrado durante o avanço até ao primeiro e segundo ponto do sulco, m^3 ;
- t_m, t_f - tempo de avanço até ao primeiro e segundo ponto do sulco, min.

Neste passo é necessário determinar o volume infiltrado até dois momentos do avanço, geralmente quando a frente de avanço atinge o meio e o fim do sulco. Para este efeito, deve subtrair-se ao volume aplicado, o volume de água armazenado superficialmente.

Para a determinação do armazenamento superficial, Elliot e Walker, utilizam o valor do factor de forma de armazenamento superficial σ_y , recomendado por Fok e Bishop (1965), e dão-lhe valores de 0,7-0,8. Ao multiplicar este factor pela área da secção transversal máxima, A_0 , obtém-se o volume da água armazenada superficialmente no sulco.

O volume médio infiltrado durante o avanço até ao primeiro e segundo ponto do sulco, V_l e V_m , são obtidos através da realização de balanço volumétrico:

$$V_f = \frac{Q_0 t_f}{l_f} - \sigma_y A_0 \quad (2.26)$$

$$V_m = \frac{Q_0 t_m}{l_m} - \sigma y A_0 \quad (2.27)$$

sendo,

l_m e l_f - distância até ao primeiro e segundo ponto do sulco, m.

Por fim, a infiltração é dividida pelo factor de forma subsuperficial, σ_z , obtido a partir do factor de correcção do Kiefer ¹:

$$k = \frac{k'}{\sigma_z} \quad (2.28)$$

com:
$$\sigma_z = \frac{a + r(1 - a) + 1}{(1 + a)(1 + r)} \quad (2.29)$$

2.2.3 Modelação matemática do escoamento

Os modelos matemáticos do escoamento são cada vez mais utilizados para o dimensionamento correcto de sistemas da rega de superfície, para a avaliação das qualidades das regas e para o controlo em tempo-real de sistemas de rega.

No sulco, o escoamento é gradualmente variado e variável, pois como se realiza sobre uma superfície permeável, a profundidade de escoamento em qualquer ponto do sulco varia com o tempo, devido à variabilidade temporal da infiltração. As duas equações diferenciais parciais que descrevem a continuidade da massa, momento e/ou energia em canais abertos são geralmente conhecidos como as *equações de Saint-Venant*:

equação da continuidade, ou equação da conservação da massa:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial t} = 0 \quad (2.30)$$

¹ O factor de correcção de Kiefer F , é dado por Christiansen *et al.* (1966) a partir da integração da equação de Kostiakov ao longo do sulco (cada ponto com o seu tempo de avanço e portanto seu tempo de infiltração), e é determinado pela seguinte equação:

$$F = \frac{a + r(1 - a) + 1}{r + 1} \quad \text{e} \quad \sigma_z = \frac{F}{a + 1}$$

e equação da quantidade de movimento ou equação da conservação do movimento, apresentada na sua forma velocidade- profundidade de escoamento²:

$$\frac{1}{g} \frac{\delta V}{\delta t} + \frac{V}{g} \frac{\delta V}{\delta x} + \frac{\delta y}{\delta x} = S_0 - S_f + \frac{iV}{gA} \quad (2.31)$$

sendo,

- dx - elemento do comprimento;
- dt - intervalo do tempo;
- z - volume infiltrado por unidade de comprimento do sulco;
- A - área da secção transversal;
- y - profundidade do escoamento;
- V - velocidade média;
- g - aceleração da gravidade;
- S_f - declive da superfície livre da água;
- i - taxa de infiltração.

A resolução simultânea destas duas equações hidrodinâmicas é complicada pelo facto de não se conhecer *a priori* a velocidade de avanço e de recessão, pelo que as fronteiras da região do fluxo devem ser encontradas como parte da solução (Sakkas e Strelkoff, 1974). Por esta razão, embora essas equações tenham sido descritas pela primeira vez em 1871, foi só cerca de um século depois que autores como Strelkoff (1970) iniciaram técnicas de cálculo para a sua resolução.

Strelkoff e Clemmens (1981) sugerem a transformação das equações acima descritas numa forma adimensional para reduzir o número de parâmetros independentes necessários para a sua resolução. Isso é possível dividindo as variáveis dimensionais das equações por variáveis “características”, que são representativas das características básicas da rega de superfície, convertendo assim as equações de continuidade e de movimento em equações diferenciais ordinárias (Katapodes e Strelkoff, 1977). Neste método, chamado *das características*, as duas equações são resolvidas simultaneamente para uma grelha de tempo-espaço.

² Quando a equação é deduzida através das relações de energia, o último termo pode ser escrito como $iV/(2gA)$. De qualquer forma, os resultados obtidos são geralmente insensíveis a este termo (Kincaid *et al.*, 1972; Bassett, 1972 citados por Walker e Skogerboe, 1987).

Outros autores, (Strelkoff e Katapodes, 1977; Souza, 1981; Walker e Humpherys, 1983) resolveram as equações utilizando o *método do volume de controle deformável*, que se baseia em células individuais deformáveis que se formam a montante e se deslocam para jusante do sulco, ao mesmo tempo que se deformam. O sulco é dividido em células correspondendo ao espaço percorrido em cada intervalo de tempo. As fronteiras “deformáveis” de cada célula são o perfil da superfície do escoamento no topo, a frente de humedecimento no solo, e as fronteiras com as células imediatamente à esquerda e à direita. A integração pode ser definida num sistema de coordenadas Eulerianas (Haie, 1984) ou Lagrangeanas (Souza, 1981; Wallender e Rayej, 1990).

Os trabalhos destes e outros autores (Tabuada, 1989; Bautista e Wallender, 1992; Strelkoff e Clemmens, 1994; Sakkas *et al.*, 1994) têm-se baseado na resolução completa das equações hidrodinâmicas, sem nenhuma aproximação simplificativa, o que se designa por modelo hidrodinâmico completo. Outros autores têm introduzido simplificações na equação da quantidade de movimento (2.31) e, consoante a natureza desta simplificação, os modelos daí obtidos, designam-se por: modelo de inércia nula, de onda cinemática e de balanço volumétrico. Todos eles utilizam a equação de conservação de massa associada a alguma forma de estimar o armazenamento superficial.

No Modelo de Inércia Nula a equação da quantidade de movimento é simplificada, desprezando-se os termos de aceleração e da inércia, pois considera-se que as velocidades que ocorrem na rega de superfície são pequenas, tornando as alterações à velocidade completamente desprezáveis. Assim, com esta simplificação, a equação 2.31 resume-se a:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f \quad (2.32)$$

mantendo-se a equação da continuidade. Este modelo é um dos mais utilizados, por ser aplicável a todas as situações de declive de sulcos. Elliot *et al.* (1982) utilizaram o modelo de inércia nula para prever o avanço da frente de humedecimento, descrevendo o formato do sulco com equações tipo potência, que relaciona a área com a profundidade e o perímetro molhado. Vários autores têm utilizado o método da célula

deformável de controlo (Elliot *et al.*, 1982; Oweis, 1983) e outros têm recorrido a soluções adimensionais para elaborar modelos de inércia nula (Katapodes e Strelkoff, 1977; Strelkoff e Clemmens, 1981). Elliot *et al.*, 1982, elaboraram famílias de curvas de avanço adimensionais que podem ser utilizadas para determinar os parâmetros da infiltração a partir dos dados de avanço.

No Modelo de Onda Cinemática simplifica-se ainda mais a equação da quantidade de movimento, desprezando-se a variação da profundidade da água $\delta y/\delta x$, resumindo-se esta a:

$$S_0 = S_f \quad (2.33)$$

Nestes modelos, presume-se uma relação única entre o caudal e as dimensões da secção transversal do escoamento e portanto com a velocidade do escoamento (Walker e Humpherys, 1983). Assim, a equação de continuidade é mantida e a equação de momento é substituída por uma equação de regime permanente, como por exemplo a equação de Manning (Shayya *et al.*, 1993). Estes modelos consideram que a água se movimenta como uma onda de montante até jusante do sulco.

A análise do escoamento através do modelo de onda cinemática é uma ferramenta satisfatória para estimar o avanço, infiltração e excedentes em sulcos declivosos (Walker e Humpherys, 1983; Sousa, 1990; Shayya *et al.*, 1993), apesar de não considerar a fase de depleção, pois no momento em que a rega é cortada, a área superficial a montante torna-se zero (Walker e Humpherys, 1983).

Nos modelos do balanço volumétrico ignora-se totalmente a equação da quantidade de movimento. Na ausência duma equação do momento para descrever a variação temporal e espacial da área da secção transversal $\bar{A}$, estes modelos presumem que ela é constante em qualquer momento, e igual a:

$$\bar{A} = \sigma_y A_0 \quad (2.34)$$

sendo,

A_0 - Secção transversal do fluxo à entrada do sulco, m²;
 σ_y - factor de forma superficial.

Holzapfel *et al.* (1984) compararam os quatro modelos apresentados com dados de campo e concluíram que os três primeiros modelos produzem simulações excelentes de avanço e recessão em sulcos. Comentam que a precisão das previsões dos modelos depende mais da precisão dos dados do que do tipo do modelo. Walker e Skogerboe (1987) e Serralheiro (1996) apresentam uma descrição mais abrangente dos diferentes modelos de simulação de rega e a sua base teórica.

2.2.4 Programas para modelação do escoamento

A simulação da rega, recorrendo a modelos matemáticos, pode ser utilizada nas fases de projecto, gestão e avaliação das regas. Dos diversos modelos de simulação da rega de superfície disponíveis, destaca-se o programa SRFR, já na versão 4.06 (Strelkoff, 1999), que simula diferentes tipos de rega de superfície, incluindo a rega intermitente e o cabo-rega, permitindo considerar a variação da infiltração em função do perímetro molhado. Outro modelo bastante divulgado é o SIRMOD (Surface Irrigation Simulation Model) desenvolvido por Walker (1983), em Utah State University, EUA. Este programa possui também capacidade para simulação, avaliação e projecto, para sulcos e canteiros, recorrendo a modelos hidrodinâmicos, de inércia-nula ou de onda-cinemática. O programa permite, além disso, a determinação dos parâmetros da infiltração através dos dados do avanço de água nos sulcos, utilizando o método dos dois pontos. De uma forma geral, o programa utiliza os procedimentos descritos por Walker e Skogerboe (1987) e Walker (1989), existindo já a versão SIRMOD II, para Windows 95.

Em Portugal, Serralheiro (1988) desenvolveu dois programas práticos para a gestão da rega. O programa ANREGA que permite deduzir, de uma rega observada, os parâmetros que permitem otimizar as qualidades das regas seguintes, e o programa CUTBACK, que permite determinar, no decurso da rega, os tempos e os módulos parcelares reduzidos, convenientes para a maximização da eficiência da rega.

2.3 Desenvolvimento de sistemas cabo-rega

2.3.1 O cabo-rega

O sistema cabo-rega foi originalmente desenvolvido no *Snake River Conservation Research Centre* em Kimberly, Idaho, em 1980. Dada a crise energética reinante na altura e a necessidade de automatizar os vastos campos sob rega de superfície, o sistema teve uma aceitação imediata por parte dos agricultores, e nos 10 anos seguintes foram instalados mais de 100 sistemas nos EUA. Por volta de 1987 a tecnologia já estava bem estabelecida e todos os componentes necessários estavam comercialmente disponíveis (Trout, 1990).

O cabo-rega foi introduzido em Portugal por volta de 1990 e os primeiros ensaios realizados por Trout e Sousa (1991). Desde então diversos autores (Cameira, 1991; Sousa *et al.*, 1992; Santos, 1992; Monteiro, 1995b; Shahidian, 1996), recorrendo a diferentes níveis de automatismo, vêm trabalhando no sentido de estudar, aperfeiçoar e divulgar este sistema.

2.3.1.1 Descrição do sistema

O sistema é constituído por um tubo de PVC janelado, normalmente com o diâmetro interno de 160 mm ou 200 mm, que transporta a água ao longo da cabeceira da parcela distribuindo-a aos sulcos. O tubo é fabricado com aditivos que evitam a sua degradação com a exposição prolongado às radiações solares. Os orifícios, normalmente em forma retangular e com as dimensões de 60 x 30 mm são abertos ao longo de uma linha que, em conjunto com o eixo longitudinal do tubo, define um plano que faz um ângulo diedro de trinta graus com o plano vertical. Os orifícios do cabo-rega são munidos de janelas corrediças ou torneiras, consoante a preferência do utilizador.

Um êmbolo, constituído normalmente por duas taças côncavas, percorre o interior do tubo, impedindo a passagem da água para jusante. O êmbolo é empurrado pela pressão da própria água, sendo a velocidade do seu deslocamento controlado por um cabo enrolado numa bobine à cabeceira do tubo. Um mecanismo controlador

desenrola lentamente o cabo, de acordo com a velocidade definida pelo utilizador (Fig. 2.1).

No interior do tubo a água escoar em superfície livre até encontrar o êmbolo, formando então uma onda de compressão e o respectivo regolfo. Os orifícios existentes permitem o escoamento da água para o exterior do tubo, de acordo com a pressão hidrodinâmico existente no local. Assim, o caudal será máximo no orifício situado imediatamente atrás do êmbolo, decrescendo para montante até se anular, por o regolfo já não o atingir. Cada vez que o êmbolo ultrapassa um orifício, este inicia o funcionamento e o caudal no último orifício de montante cessa. Esse caudal decrescente, típico do cabo-rega, pode ser uma grande vantagem, pois acompanha a diminuição da infiltrabilidade do solo ao longo da rega. Assim, o caudal inicial elevado permite um avanço rápido da água no sulco, e o caudal final reduzido evita grandes perdas por escoamento, na fase de manutenção.

A água deve escoar no tubo em superfície livre, para que em cada instante sejam regados apenas um determinado número de sulcos, pelo que não é recomendado utilizar caudais superiores a 85% da capacidade do tubo. O tubo deve ser instalado a um declive preciso, podendo-se recorrer a equipamento laser ou topográfico para a sua instalação. De facto, quanto menor for o seu declive, mais importante é a sua regularização correcta. Kemper *et al.* (1985), recomendam que para declives menores do que 0,5%, a elevação do tubo seja mantida a ± 1 cm da cota desejada.

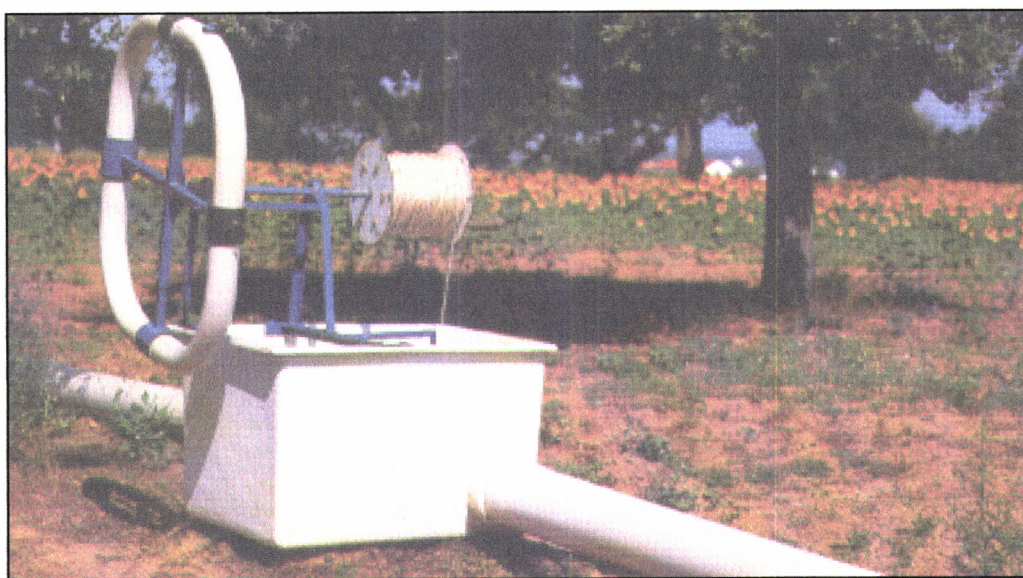


Figura 2.1 Sistema cabo-rega convencional com roda hidráulica.

Para o controlo da velocidade de deslocamento do êmbolo existem diversos sistemas. O sistema convencional consiste num “travão hidráulico” consistindo numa roda com o diâmetro de 1 m, constituída por um tubo em PVC, preenchida até ao meio com água. A velocidade angular da roda, e portanto a velocidade do deslocamento do êmbolo é ajustada através de duas válvulas reguláveis e alojadas no interior do tubo. O movimento da própria roda obriga a água a atravessar lentamente as válvulas, servindo o seu peso para limitar a velocidade de rotação da roda. Este sistema, embora bastante económico, é de difícil regulação e sensível a variações de pressão sobre o êmbolo, pelo que o acerto destes sistemas pode ser bastante difícil e moroso.

Têm sido desenvolvidos vários sistemas mais sofisticados para o controlo do cabo-rega, utilizando-se motores eléctricos regulados por relés, reóstatos ou aparelhos electrónicos, acoplados a mecanismos redutores. Estes mecanismos, embora mais caros, facilitam a regulação da velocidade de deslocamento do êmbolo, poupam tempo ao agricultor e, duma forma geral, imprimem maior fiabilidade ao sistema.

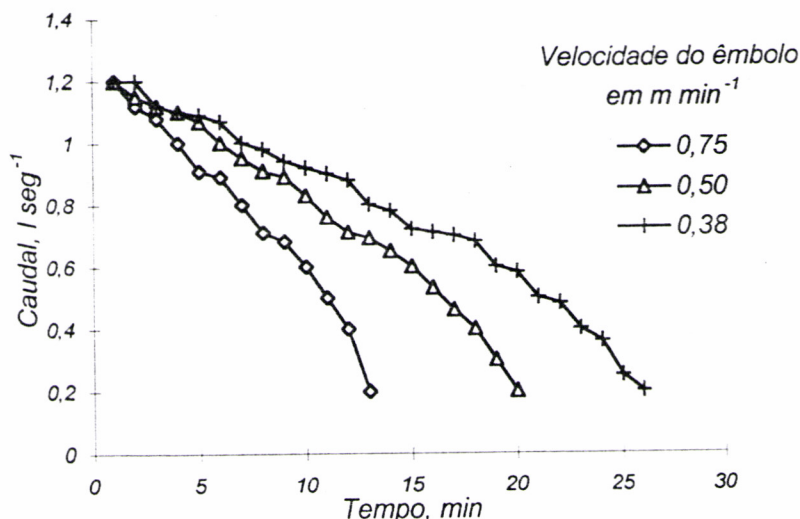


Figura 2.2 Influência da velocidade do êmbolo sobre o hidrograma dos caudais debitados por um dado orifício, mantendo-se constantes os outros parâmetros (caudal total: 10 l seg^{-1} , declive: $0,002 \text{ m m}^{-1}$, diâmetro equivalente dos orifícios: 40 mm). Simulação realizada com CaboGest (Shahidian, 1996).

2.3.1.2 Gestão de sistemas cabo-rega

A velocidade do êmbolo determina a distribuição temporal dos caudais, ou seja o tempo durante o qual cada caudal é aplicado ao sulco (Fig. 2.2). Uma diminuição da velocidade do êmbolo implica o prolongamento dos tempos de aplicação de cada um dos caudais, aumentando não só o volume total aplicado, como também o tempo total de aplicação. No sulco, os tempos de avanço são influenciados pelo caudal, pelo que o prolongamento de tempo de aplicação dos caudais maiores traduz-se num avanço mais rápido no sulco, para além de um maior tempo total de aplicação. É por esta razão que os sistemas cabo-rega são muito sensíveis à afinação da velocidade de deslocamento do êmbolo.

Durante a rega, a regulação do avanço da água nos sulcos, e da dotação aplicada, é realizada através da alteração da velocidade de deslocamento do êmbolo. Como o êmbolo se desloca num único sentido e em cada momento estão a ser regados um conjunto de sulcos, a correcção da velocidade de deslocamento do êmbolo, seja por excesso ou por defeito, já não surtirá grande efeito nos sulcos onde foi detectado, mas sim nos sulcos imediatamente a jusante. Assim, existe um tempo de resposta mais

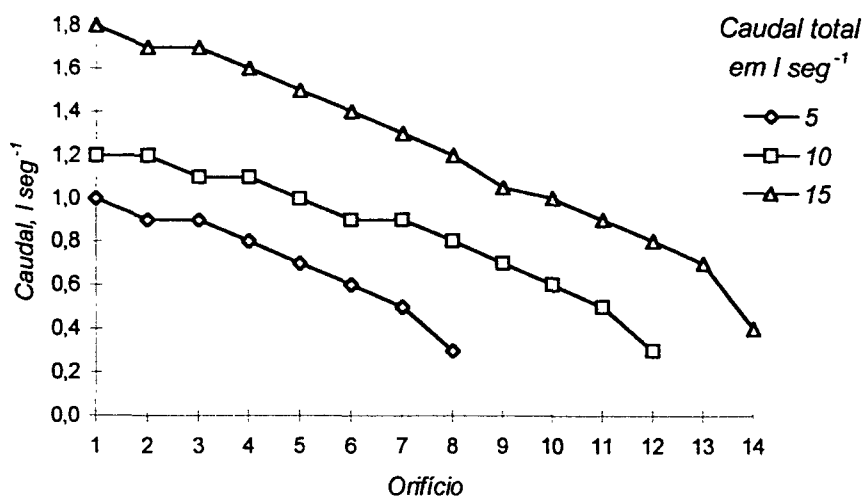


Figura 2.3 Efeito do caudal total sobre o número de orifícios debitando em simultâneo, e o caudal debitado por cada um. (caudais totais: 5, 10 e 15 $l\ s^{-1}$, declive: 0,002 $m\ m^{-1}$, diâmetro equivalente dos orifícios: 30 mm). Simulação feita com o programa Cablemet (Kincaid, 1989).

ou menos longo entre a correção da velocidade do êmbolo e a observação do seu efeito sobre as características da rega, dificultando bastante a afinação manual de sistemas cabo-rega.

O caudal total influencia o número de orifícios a debitar simultaneamente e também o caudal debitado por cada um. Quanto maior o caudal total no tubo, maior será o número de orifícios debitando em simultâneo, o que significa o aumento do regolfo no tubo e portanto o aumento do caudal debitado por cada um (Fig. 2.3).

A dimensão de abertura das janelas influencia os caudais debitados pelas mesmas e, portanto, o número de janelas debitando simultaneamente (Fig. 2.4). Para um mesmo caudal total e velocidade de deslocamento do êmbolo, o aumento da abertura das janelas aumenta os caudais iniciais, pelo que diminui o número de janelas debitando em simultâneo e o tempo de aplicação em cada sulco. No entanto, o volume total de água aplicado em cada sulco mantém-se inalterado (Kemper, 1981).

A diminuição gradual e contínua dos caudais, típico dos sistemas cabo-rega, permite completar rapidamente o avanço com caudais maiores, realizando a fase de manutenção com caudais reduzidos, adequados à taxa decrescente da infiltrabilidade do solo, o que proporciona uma maior uniformidade de infiltração e uma redução significativa dos volumes excedentes (Fig. 2.5).

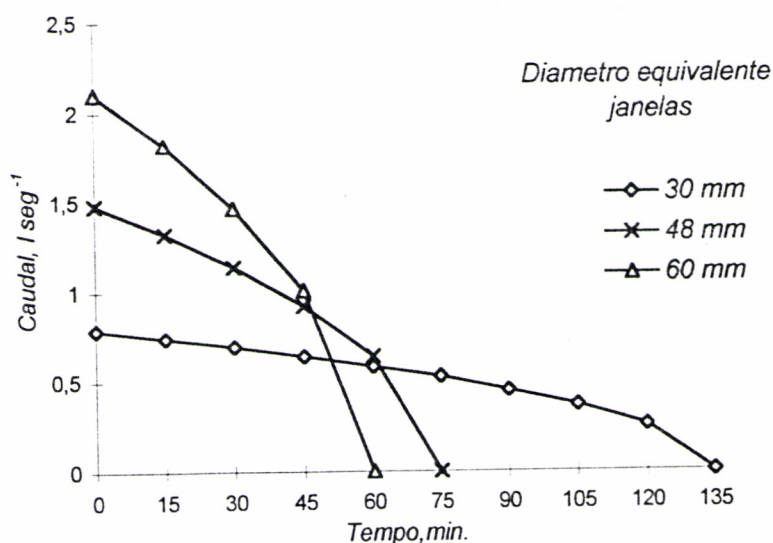


Figura 2.4 Influência do diâmetro equivalente das janelas sobre os caudais aplicados e a duração da aplicação (mantendo-se constante os outros parâmetros: caudal total = 10 l s^{-1} , declive = $0,002 \text{ m m}^{-1}$, velocidade êmbolo = 6 m h^{-1} , distância entre orifícios = $0,75 \text{ m}$). Simulação realizada com Cablemet (Kincaid, 1989).

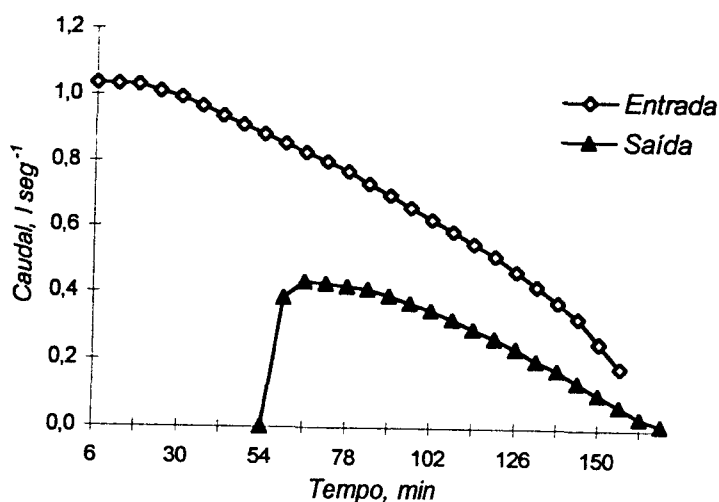


Figura 2.5 Hidrogramas de entrada e saída tipicamente obtidas com o cabo-rega (Shahidian, 1996).

2.3.1.3 Dimensionamento de sistemas cabo-rega

Os sistemas cabo-rega são relativamente exigentes no que diz respeito à topografia do terreno, e a sua instalação em locais não adequados tem proporcionado resultados decepcionantes. O terreno ideal para a instalação de um sistema de cabo-rega terá dois planos de inclinação: o plano longitudinal, normalmente com a inclinação menor onde são abertos os sulcos, e o plano transversal normalmente mais inclinado, à cabeceira, onde é instalado o tubo janelado. O tubo deve ter um declive superior a 0,35%, de modo a que a água, no tubo, tenha peso suficiente para empurrar o êmbolo, sob pena de, em caso de declives menores, o êmbolo ficar preso nas janelas. O declive máximo recomendado situa-se à volta dos 3%, embora nos declives superiores a 2% não só aumentem significativamente a força sobre o cabo, como a pressão da água à saída nas janelas pode criar um jacto forte, capaz de erodir a parte inicial dos sulcos.

Em sistemas de cabo-rega, o caudal óptimo varia entre 5 e 20 l s⁻¹. Duma forma genérica, pode-se dizer que, tal como nos outros sistemas de rega, o caudal disponível deve permitir aplicar ao campo a dotação diária necessária em 16 a 20 horas, no estágio mais exigente da cultura.

Numa série de cinco artigos que originalmente divulgaram o cabo-rega, (Kemper, 1981; Kemper e Kincaid, 1982; Goel *et al.*, 1982; Kincaid, 1984; Kincaid e

Kemper, 1984; Kincaid, 1985) é apresentado um método simplificado de dimensionamento do cabo-rega utilizando uma série de relações adimensionais. Mais tarde, estes autores apresentaram os programas Cable e Cablemet (Kincaid, 1991), que têm sido os mais divulgados para o dimensionamento destes sistemas. Os programas citados, embora não otimizem, por si, o sistema de cabo-rega, deixando ao utilizador a tarefa de variar os parâmetros de rega de modo a maximizar a sua eficiência, são bastante úteis para o dimensionamento de novos sistemas.

2.3.2 Evolução do Equipamento de cabo-rega

O primeiro sistema cabo-rega foi instalado em 1980, na estação experimental da Universidade de Idaho. Este sistema proporcionou a redução dos excedentes para metade, e uma eficiência de aplicação de 73% (Kemper *et al.*, 1985). Nos anos que se seguiram foram instalados em explorações particulares diversos sistemas, muitos recorrendo a soluções engenhosas para se adaptarem a situações específicas de cada campo.

Para regar canteiros e faixas, foram desenvolvidos sistemas com tubo enterrado, sendo a água trazida para a superfície por tubos verticais, localizados de 20 em 20 metros, tendo-se observado erosão acentuada a volta dos mesmos. Em outros

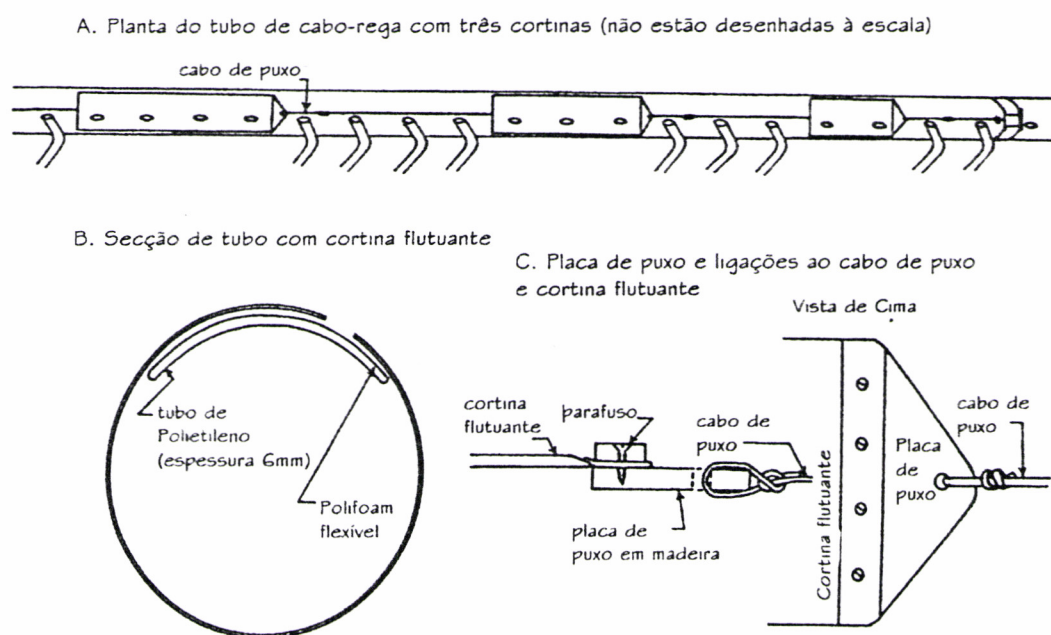


Figura 2.6 Sistema engenhoso de cabo-rega adaptado à rega intermitente (adaptado de Kemper *et al.*, 1985).

campos, houve a necessidade de se desenvolver sistemas em que o tubo percorria itinerários sinuosos para acompanhar o formato do terreno. Em solos com grande infiltrabilidade, onde as perdas por percolação eram consideráveis, foram instalados troços de mangas de plástico vedantes atrás do êmbolo, possibilitando a rega intermitente com o cabo-rega ao abrir e fechar alternadamente as janelas (Fig. 2.6). Ainda para terrenos com sulcos de comprimentos variáveis, foram desenvolvidos e instalados sistemas utilizando bobines compostas com diâmetros diferentes, correspondendo os diâmetros maiores a sulcos de menor comprimento. Assim, garantiam que o êmbolo se deslocava mais rapidamente nos sulcos mais curtos.

Quando o declive do tubo é grande ($> 1\%$), a pressão no tubo pode ser elevada, e a água sai das janelas com pressão considerável, o que pode provocar erosão no sulco. Para ultrapassar este problema, foram desenvolvidos sistemas para a dissipação de energia no interior do tubo, através de obstrução parcial do fluxo a montante do êmbolo (Fig. 2.7).

No entanto a adaptação que obteve maior êxito é a derivação em paralelo, (*bypass*), que conduz o excesso de água do início da rega para a parte final do campo, poupando água. Como os sistemas cabo-rega regam simultaneamente um conjunto de sulcos, a rega é normalmente iniciada com o êmbolo estacionário, regando o primeiro conjunto de sulcos. O êmbolo é mantido nesta posição durante cerca de 2/3 do tempo de rega habitual, de modo a permitir o avanço da água nestes primeiros sulcos. No

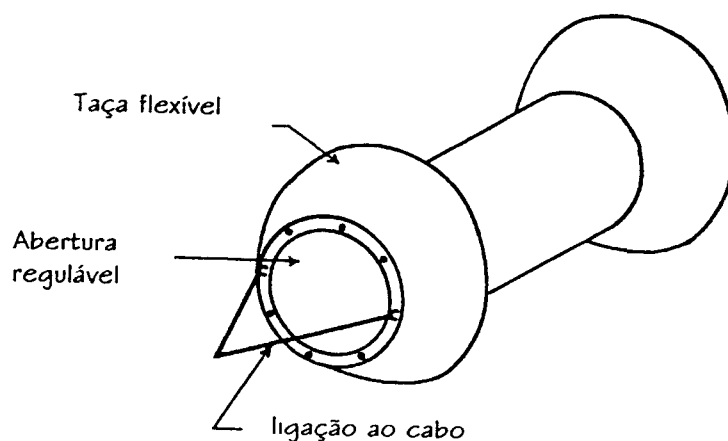


Figura 2.7 Dissipador de energia desenvolvido por Kemper et al. (1985).

entanto, este procedimento pode provocar uma rega deficiente nos primeiros sulcos e excessiva nos últimos que não só recebem um caudal elevado, como continuarão a receber água quando o êmbolo começar a mover-se. Existe um problema semelhante com os últimos sulcos, que ficarão normalmente mal regados. Para aliviar este problema, o sistema pode ser munido de uma derivação em paralelo, consistindo num tubo que conduz o excesso de água do início da rega para os últimos sulcos (Kincaid e Kemper, 1984). Assim, ao longo de todo o comprimento do tubo, o êmbolo desloca-se com a velocidade normal, sem existirem sulcos deficientemente regados

Ainda uma outra inovação interessante consiste na utilização de válvulas de corte. Quando o declive do tubo é pequeno (próximo dos 0,5%), os orifícios continuam a debitar durante algum tempo caudais reduzidos, o que pode ser problemático em solos com boa infiltrabilidade resultando numa recessão de jusante para montante, diminuindo a uniformidade de aplicação. Uma solução possível é a instalação de válvulas de corte, que fazem o corte automático do caudal, quando este se torna pequeno.

Cameira (1991) instalou e experimentou em Coruche um sistema de cabo-rega com derivação em paralelo (*by-pass*) e obteve resultados satisfatórios. Esta autora registou tempos de avanço com “variações substanciais”, o que atribuiu ao facto do declive dos sulcos não ser constante.

Em Évora, Santos (1992) montou e testou o primeiro sistema cabo-rega em sulcos de terra plana, num solo argiluvado. O sistema, que possuía roda hidráulica, era difícil de manejar e exigia “grande dispêndio de tempo para o ajuste da abertura da válvula à velocidade do êmbolo desejada.” Por outro lado, a autora sentiu dificuldade no manejo da rega, devido em grande parte à baixa infiltrabilidade do solo, que resulta em tempos de avanço e da permanência relativamente rápidos, sensíveis a pequenas variações na velocidade do êmbolo. Pela mesma razão, não lhe foi possível aplicar as dotações úteis pretendidas inicialmente.

2.3.3 Evolução do controlador do cabo-rega

Os sistemas originais baseados na roda hidráulica apresentavam o defeito de serem difíceis e morosos de regular por um lado, por outro serem pouco fiáveis, exigindo uma grande supervisão por parte do regante. Rapidamente os investigadores procuraram controladores mais fiáveis, quase todos baseados num motor eléctrico com algum sistema de regulação da sua velocidade de rotação. Já em 1981, Kemper *et al.* tinham desenvolvido um sistema controlado por um motor eléctrico, trabalhando com baterias de 12 V. O sistema possuía uma caixa redutora de 1000 vezes e a regulação da velocidade era feita através de um reostato (Fig. 2.8).

Sousa *et al.* (1992) e a sua equipa (Monteiro, 1995b; Campos, 2000) têm desenvolvido um sistema automático de cabo-rega que tem sido utilizado com êxito principalmente nos solos arenosos da zona de Coruche, e que, ao longo dos anos, tem sofrido melhorias e aperfeiçoamentos. O controlador é constituído por uma caixa de comando, no interior da qual se encontra um pequeno motor eléctrico que transmite o movimento ao enrolador através de uma engrenagem cónica (Fig. 2.9). O motor recebe energia de uma pequena bateria de 12V recarregável que, por sua vez, é alimentada por um pequeno painel fotovoltaico, instalado sobre a caixa de comando.

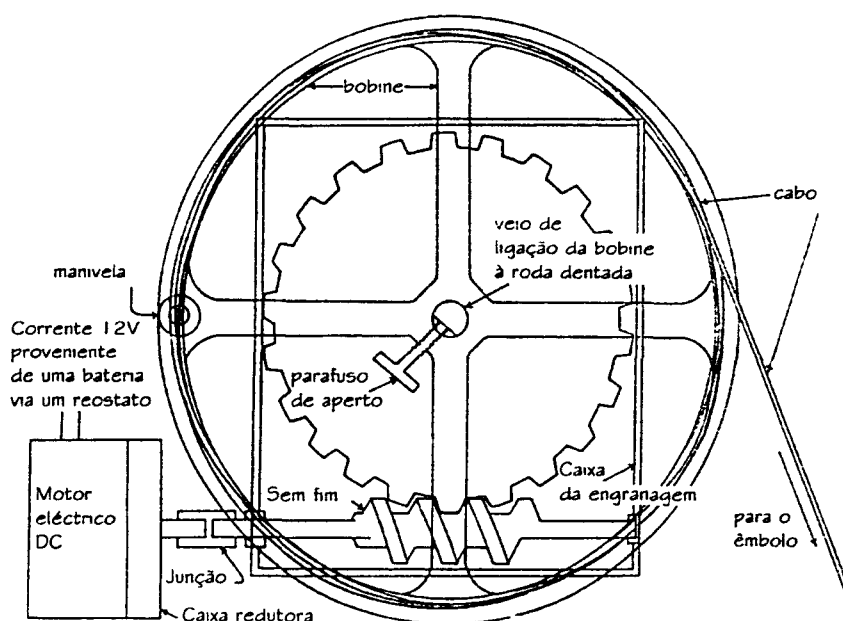


Figura 2.8 Esquema do primeiro cabo-rega eléctrico, mostrando o motor de 12 V e o sistema de redução utilizado (adaptado de Kemper *et al.*, 1981).

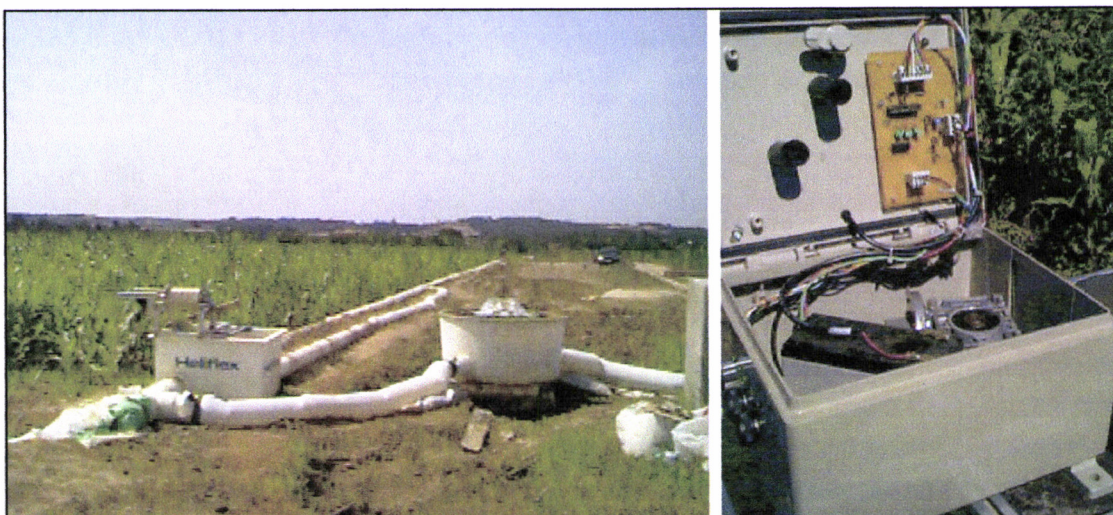


Figura 2.9 Sistema cabo-rega com controlo electrónico da velocidade desenvolvido por Sousa et al. (1992-2001). Na fotografia à esquerda pode-se observar ainda o sistema de derivação em paralelo (fonte: equipa de investigação do ISA).

No interior da caixa de comando existe também um programador electrónico que, de acordo com os dados característicos da parcela e da rega, controla a velocidade angular do motor e, consequentemente, o movimento da bobine onde se encontra enrolado o cabo que está ligado ao êmbolo.

Para o funcionamento deste equipamento é necessário introduzir no controlador cinco parâmetros característicos da parcela e da rega, a partir dos quais o programador calcula a velocidade de deslocamento do êmbolo, que mais se ajusta às condições do campo (Campos, 2000). Os parâmetros são: a textura do solo, o declive do tubo, o comprimento dos sulcos, a largura do campo e o caudal total. A introdução de valores dos vários parâmetros é feita através da selecção de uma gama de valores possíveis, encontrando-se estes descritos no Quadro 2.1. A partir dos variáveis introduzidos pelo utilizador, o programador calculará, para cada sector definido, a respectiva velocidade de deslocamento do êmbolo, tendo por base as tabelas que se apresentam no Anexo 2.1.

Dado que os quatro primeiros parâmetros são constantes para uma mesma parcela, estes são introduzidos através de um conjunto de interruptores internos (dip-switches), uma vez que o utilizador não terá necessidade de os voltar a introduzir enquanto regar no mesmo local. O caudal total, como pode variar durante a temporada de rega, é introduzido através de um interruptor rotativo externo.

Quadro 2.1 Gama de valores possíveis de introduzir no controlador.

Textura	Declive do tubo, $m\ m^{-1}$	Comprimento do sulco, m	Caudal total, $l\ s^{-1}$	Largura do campo, m	Largura de cada sector de rega, m
Argilosa	0,0035	100	10	30	10
Franco-argilosa	0,0050	150	15	45	15
Franco-limosa	0,0100	200	20	60	20
Franco-arenoso		300	25	75	25
Arenoso				90	30
				105	35
				120	40
				150	50

Fonte: Campos, 2000.

Exteriormente, existe um interruptor rotativo que permitirá corrigir a velocidade determinada pelo programador para cada sector. O interruptor poderá efectuar três ajustes à direita e três ajustes à esquerda da sua posição base, consoante se queira diminuir ou aumentar a velocidade de deslocamento do êmbolo. Na sua posição base, a velocidade do êmbolo será aquela que o programador calcular. As velocidades corrigidas serão calculadas através da soma ou subtracção de um factor de correcção. Os factores de correcção serão, respectivamente, para a primeira, segunda e terceira posição do interruptor, de 10, 20 e 30% do valor da velocidade determinada pelo programador.

Segundo Campos (2000) este controlador é inovador por permitir regar parcelas com forma irregular. Isto é conseguido porque o programa admite que a parcela se encontra dividida em três sectores de rega, caracterizados por uma largura idêntica e um comprimento de sulco representativo.

Esta abordagem ao controlo de rega, baseado em tabelas pré-estabelecidas é bastante prática e simplifica o controlador electrónico. Evidentemente o fornecedor do equipamento ao agricultor introduzirá os parâmetros fixos do campo, tais como a textura do solo, o comprimento dos sulcos etc., que melhor traduzem as condições locais.

Trabalhando num campo rectangular e com sulcos bloqueados, Sousa *et al.* (1992) obtiveram eficiências de aplicação da ordem dos 80%, tendo optimizado o caudal total e a velocidade do êmbolo duma rega para outra. Estes autores concluem

que o cabo-rega permite uma fácil e eficaz optimização da gestão do sistema, apresentando elevadas eficiências de aplicação e uniformidades de distribuição.

Recorrendo à sua experiência e a simulações extensivas de regas sob diversas situações, os autores determinaram, para cada situação, a dotação mais adequada, fixando este valor no controlador. Assim, as dotações são fixadas pelo programador, embora exista o interruptor rotativo que permite acelerar ou abrandar a velocidade pré-definida, o que poderá permitir aplicar mais ou menos água ao campo. Campos (2000) considera que “a limitação apresentada pelo programador reside no facto de não considerar a variação da taxa de infiltração de rega para rega”, embora “o agricultor se possa socorrer do factor de correcção da velocidade do pistão.”

Possivelmente, as variáveis declive dos sulcos e a abertura das janelas podiam ter sido deixadas ao critério do agricultor. A abertura das janelas em conjugação com o declive do tubo e o caudal total determinam os caudais aplicados pelos orifícios. No entanto, quando os declives dos sulcos são pequenos e os sulcos são bloqueados, é possível desprezar essas variáveis.

A simplicidade do sistema, a sua construção robusta e o seu baixo custo são aspectos positivos e atraentes para os agricultores para quem, muitas vezes, a facilidade de utilização e a fiabilidade são os factores mais importantes na selecção do sistema de rega.

2.3.4 Avanços no desenvolvimento de sistemas de rega utilizando retorno da informação do campo em tempo real

Nos últimos vinte anos, muitos autores têm desenvolvido e apresentado vários sistemas de rega de superfície que no decorrer da rega recebem informação (*feed-back*) de um ou mais parâmetros julgados característicos da evolução da rega e, de uma forma mais ou menos automática realizam o reajuste do módulo parcelar ou dos tempos de aplicação.

Humpherys e Trout desenvolveram em 1990 o que terá sido provavelmente o primeiro sistema de cabo-rega com controlo por retorno de informação do campo. Para o efeito foram instalados sensores de caudal no fim de uma vala colectora do excedente dos sulcos, que transmitia essa informação a um computador instalado na cabeceira do campo. O computador ajustava a velocidade de deslocamento do êmbolo

de modo a tentar manter os excedentes totais dentro de limites pré-estabelecidos. No ensaio realizado num campo irregular, com sulcos de comprimentos variáveis, obtiveram resultados satisfatórios. Durante o ensaio houve um aumento de caudal para o dobro e o sistema foi capaz de ajustar o deslocamento do êmbolo de modo a reduzir os excedentes para um nível aceitável em 400 minutos.

Este sistema de retorno relativamente simples adapta-se bem a sulcos com grande infiltrabilidade, onde o tempo de permanência é prolongado, comparativamente ao tempo de avanço, e o retorno da informação do fim do campo ainda serve para alterar as características da rega.

Os sistemas com controlo em tempo real da rega utilizam muitas vezes os dados recolhidos durante o processo de rega como dados de entrada para modelos de simulação que permitem gerar a informação necessária para otimizar a rega. Katapodes e Tang (1990) idealizaram um sistema que, a partir dos dados de avanço observados em tempo real, ajusta o hidrograma de entrada procurando otimizar a fase de avanço, embora considerem ser difícil conceber o equipamento necessário com a precisão desejada. Por outro lado, consideram que dadas as condições dinâmicas dos parâmetros do campo e a sua variabilidade temporal e espacial, a interpretação dos resultados dos modelos e implementação das alterações necessárias tem atrasado a utilização destes sistemas no campo.

Para a rega intermitente, Reddell e Latimer (1987) e Latimer e Reddell (1989) desenvolveram um sistema com retorno dos tempos de avanço denominado *ARFIS* (*Advance Rate Feed-back Irrigation System*). Um computador recebe automaticamente os tempos de avanço e de recessão de dois impulsos (*surge*) num sulco e, recorrendo a um modelo de balanço volumétrico, determina os parâmetros da equação de Kostiakov e o armazenamento superficial, a partir das quais calcula a diminuição dos caudais a realizar. Obtiveram resultados satisfatórios, concluindo que o nível de controlo e optimização conseguido através do retorno da informação, ultrapassa os obtidos com qualquer outro método (Latimer e Reddell, 1990).

Braz (1990) realizou a gestão em tempo real da rega, utilizando o programa CUTBACK (Serralheiro, 1988), que permite determinar, no decurso da rega, os tempos e os módulos parcelares reduzidos, convenientes para a maximização da eficiência da rega. Este autor verificou a viabilidade e a grande utilidade desta gestão no decurso da rega, propondo a automação de todo o sistema.

Fekersillassie e Eisenhauer (2000a e 2000b) desenvolveram um sistema de gestão da rega com base em retorno de informação em tempo real para rega intermitente, que optimiza a rega em tempo real, baseado em tempos de avanço até $\frac{1}{4}$ do campo em oito sulcos, e o caudal excedente do campo. Estes autores simplificam a determinação dos parâmetros da equação de infiltração, baseando o expoente a da equação de Kostiakov em famílias texturais, enquanto que o k é determinado através do balanço volumétrico. Os desvios dos avanços e excedentes observados situam-se a $\pm 25\%$ dos simulados (Eisenhauer e Fekersillassie, 2000).

O sistema cabo-rega é particularmente bem adaptado à gestão automática em tempo real, pois como o campo é regado lenta e progressivamente é possível caracterizar a infiltração em tempo útil e utilizar estes dados para optimizar a rega no resto do campo.

O autor (Shahidian, 1996), desenvolveu um sistema computadorizado de controlo e da gestão do funcionamento do cabo-rega, que utiliza os tempos de avanço em sulcos seleccionados para optimizar a rega em tempo real (Fig. 2.10). O equipamento consiste basicamente num computador que comanda o deslocamento do êmbolo através de um motor eléctrico e de dois ou mais sensores de água que transmitem a chegada da frente de avanço em sulcos seleccionados.



Figura 2.10 O sistema CaboGest original.

Este sistema, denominado CaboGest (Shahidian, 1996), aproveita o período do princípio da rega em que o êmbolo está estacionário no primeiro conjunto de sulcos, e durante o qual a rega é realizada com caudal constante, para determinar a equação da infiltração, utilizando o método dos dois pontos (Elliot e Walker, 1982). Para o efeito, o CaboGest recebe, em tempo real, os tempos de avanço até ao meio e ao fim do sulco e, como já foi referido, determina a equação da infiltração.

Com base nesta equação e utilizando um modelo próprio, o CaboGest calcula os tempos de avanço para o sulco. Estes tempos assim calculados são comparados com os observados e o seu ajustamento é feito através do coeficiente de rugosidade de Manning. Utilizando estes dados, o programa CaboGest modela o avanço em cada um dos sulcos remanescentes e calcula a velocidade do êmbolo de modo a permitir a infiltração da dotação pretendida.

Este sistema utiliza um computador de pequeno porte associado a um variador de velocidades para comandar um motor eléctrico de 120 W, acoplado a uma caixa redutora, obtendo velocidades do êmbolo de 0 a 39 m h⁻¹. O autor realizou apenas duas regas e obteve resultados satisfatórios em termos de funcionamento do método.

Capítulo III

Material e Métodos



3 Material e Métodos

3.1 Caracterização do campo de ensaio

3.1.1 Localização

Este ensaio foi realizado no Campo Experimental do Divor, situado na Herdade do Cabido, distrito de Évora, conselho de Arraiolos, freguesia de S. Gregório, onde a Universidade de Évora tem vindo a realizar ensaios de rega desde 1990.

Em parte da mesma parcela, o autor (Shahidian, 1996) realizou os primeiros ensaios com cabo-rega automatizado e Matos (1998) estudou as vantagens da realização de subsolagem. Martins (2001) realizou ensaios de aplicação de poliacrilamidas. Em parcelas adjacentes e no mesmo tipo de solo, outros autores realizaram ensaios com cabo-rega (Santos, 1992) e rega em sulcos de contorno com redução manual do caudal (Braz, 1990).

3.1.2 Caracterização do solo

O ensaio realizou-se num solo pertencente à ordem dos Argiluvitados pouco insaturados, os quais assumem particular importância, visto que ocupam uma grande área a sul do Tejo e é neles que se pratica grande parte dos regadios Alentejanos. Cardoso (1965) considera que o clima pouco húmido em que se situam é responsável pela sua génese.

Nestes solos, existe uma migração mecânica de partículas de argila do horizonte A para o horizonte B do perfil do solo, originando o enriquecimento relativo de argila neste horizonte e a sua transformação num horizonte B tipo “textural”, com um grau de saturação elevado. A estrutura é fraca e desagrega-se facilmente em presença de água, reduzindo a sua infiltrabilidade geral. No entanto, como resultado do processo

pedogenético de argiluviação, origina-se uma nítida diferença de permeabilidade entre os horizontes A e B. Esta é rápida no horizonte A, até a frente de humedecimento atingir o horizonte B. A partir desse momento, a infiltração quase só se dará horizontalmente, pelo que as dotações infiltradas serão sempre pequenas. Para as aumentar é necessário prolongar muito a rega, dando tempo à água para se infiltrar no horizonte B, o que pode originar grandes perdas por excedentes, a não ser que se possa praticar uma redução gradual do módulo parcelar (*cut-back*).

A parcela onde foi realizado o ensaio tinha sido utilizada durante muitos anos para a cultura de arroz, pelo que as rebaixas e as restantes operações culturais realizadas certamente terão reduzido a infiltrabilidade, contribuindo para aumentar o efeito argiluviado.

Matos (1998) estudou a distribuição das raízes de milho ao longo do perfil da parcela dos ensaios em 1997. Verifica-se através dos seus dados que a densidade radical é bastante grande nos primeiros 15 cm do solo (horizonte Ap1), com mais de 2/3 das raízes localizadas nessa horizonte (Fig. 3.1). Na horizonte Ap2 (15-30 cm de profundidade) existem também raízes em número razoável com diferentes espessuras, diminuindo esse número bastante na horizonte Bt subjacente onde apenas existem raízes com menos de 2 mm de diâmetro. Efectivamente verifica-se que 95% das raízes estão concentradas nas duas horizontes Ap.

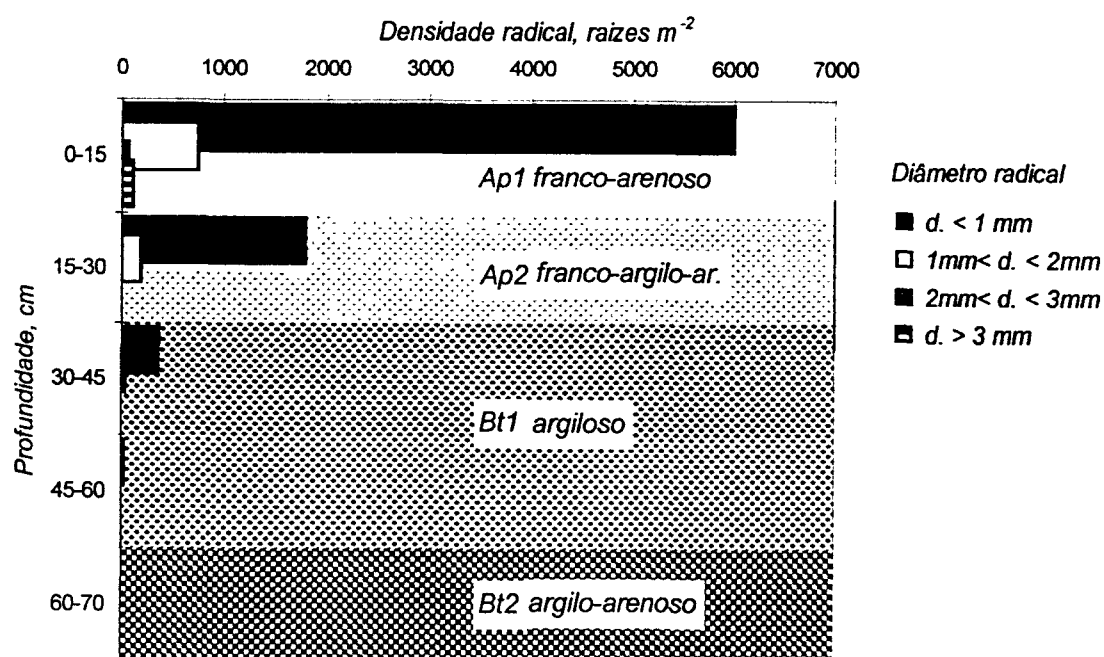


Figura 3.1 Densidade radical (nº de raízes m^{-2}) ao longo do perfil em função do seu diâmetro (Adaptado de Matos, 1998; Monteiro, 2000).

Monteiro descreveu um perfil no campo de ensaios em 2000, apresentado em Anexo 3.1. Em Anexo 3.2 estão apresentadas as análises físico-químicas do solo do campo, realizadas por Pereira (1992), Gastão (1993) e Odeland (1996).

3.2 Organização do campo em blocos de contorno

Na moderna rega de superfície a regularização criteriosa do terreno recebe uma atenção especial, pois permite uniformizar os tempos de avanço da água nos sulcos. De facto, um nivelamento executado com rigor é necessário, para que a qualidade das regas possa aproximar-se ou igualar a da rega sob pressão.

No caso específico dos solos Argiluvitados, a problemática da sua baixa infiltrabilidade é uma questão que deve ser abordada logo na fase de organização do terreno. A imposição de pequenos declives aos sulcos reduz a velocidade do avanço da água e prolonga a duração da fase de avanço e, consequentemente, da rega, aumentando assim a dotação que pode ser aplicada em cada rega.

A organização em blocos de contorno é a opção correcta nestes casos, pois permite obter sulcos com um declive reduzido, aproveitando os contornos naturais do terreno. Esta prática é também bastante eficaz para a conservação do solo ao reduzir consideravelmente a erosão, quer a provocada pela rega, quer a provocada pela chuvas. Duma forma geral, um traçado correcto dos blocos de contorno deve procurar minimizar os cortes efectuados no terreno, poupando as camadas superficiais do solo e reduzindo os custos da operação.

Em gabinete, sobre uma carta topográfica na escala de 1:1000, resultante de levantamento topográfico detalhado, projectou-se a organização do terreno pretendida. Este trabalho foi realizado pela equipa de topografia do DER, Universidade de Évora, utilizando o programa Cartomap (Eneba, 1996).

Foram analisadas as hipóteses da definição de terraços com valados paralelos e largura constante e de terraços de declive constante e largura variável. Optou-se pela segunda hipótese visto da primeira resultarem blocos com declives variáveis, alguns bastante acentuados, o que implicaria grandes movimentações de terra. Os terraços resultantes, em número de seis (Fig. 3.2), ficaram com declives longitudinais variando de 0,19 a 0,29% (0,19%, 0,21%, 0,22%, 0,20%, 0,23% e 0,29%). O comprimento dos

terraços variou de 100 m a 280 m e a largura de 18 m a 30 m. O declive transversal médio do campo foi de 2,22%.

3.2.1 Implantação dos blocos no terreno

Em 1997 e em 1998, realizaram-se trabalhos de regularização do terreno, não se tendo sentido essa necessidade no último ano dos ensaios. A implantação dos blocos de contorno começou pela piquetagem dos seus limites, de 20 em 20 m, com os declives estabelecidos para cada bloco.

Posteriormente, dentro de cada terraço procedeu-se à piquetagem e ao levantamento altimétrico de dois perfis longitudinais mestres, cada um localizado a $\frac{1}{4}$ da largura do terraço das suas extremidades, utilizando o método dos perfis determinou-se a cota exacta de cada um dos pontos para se obter os declives desejados. Seguidamente foram colocadas no terreno estacas à cota pretendida. Utilizando um tractor com uma lâmina, procedeu-se a regularização do terreno, sendo o trabalho dado por concluído quando a superfície do terreno coincidissem com as estacas.

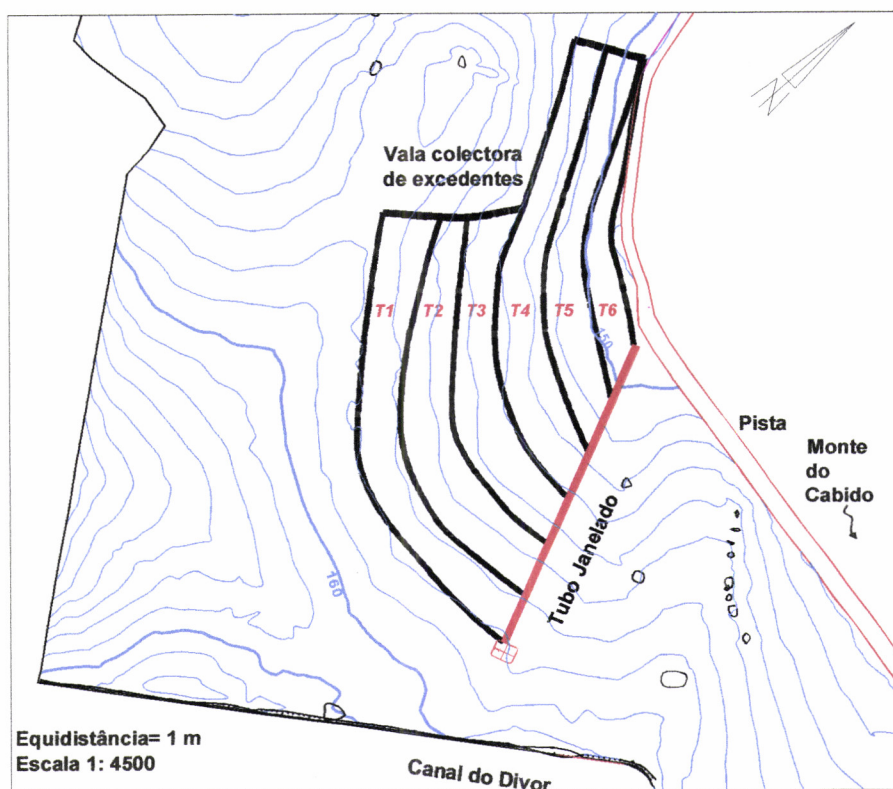


Figura 3.2 Levantamento topográfico do campo dos ensaios, com os seis terraços de contorno delineados. Na parte final dos terraços pode-se observar a vala de recolha de excedentes.

Foram abertas valas delimitadoras dos blocos, bem como uma vala de recolha de excedentes, localizada no fim dos sulcos. Finalmente foram abertos os cerca de 200 sulcos, cuja distribuição pelos diferentes blocos e o seu comprimento variavam nos diferentes anos. Os comprimentos dos sulcos de 1999 estão representados na Figura 3.3. Os comprimentos e outros dados dos três anos estão apresentados no Anexo 3.3.

Em 1997, os limites dos terraços foram definidos apenas em função do declive natural do terreno. Como consequência, observou-se que, em alguns blocos, a largura dos terraços aumentava para jusante, o que implicava a existência de sulcos que começavam no meio do terraço e que portanto não podiam ser regados, surgindo assim pequenas “áreas sobrantes”.

Em 1998 decidiu-se corrigir este aspecto, de modo que a largura máxima do terraço se verificasse sempre a montante, onde os sulcos são alimentados pelo tubo do cabo-rega. Assim eliminaram-se as pequenas áreas não regadas que existiam no ano anterior, conseguindo um aproveitamento total do campo.

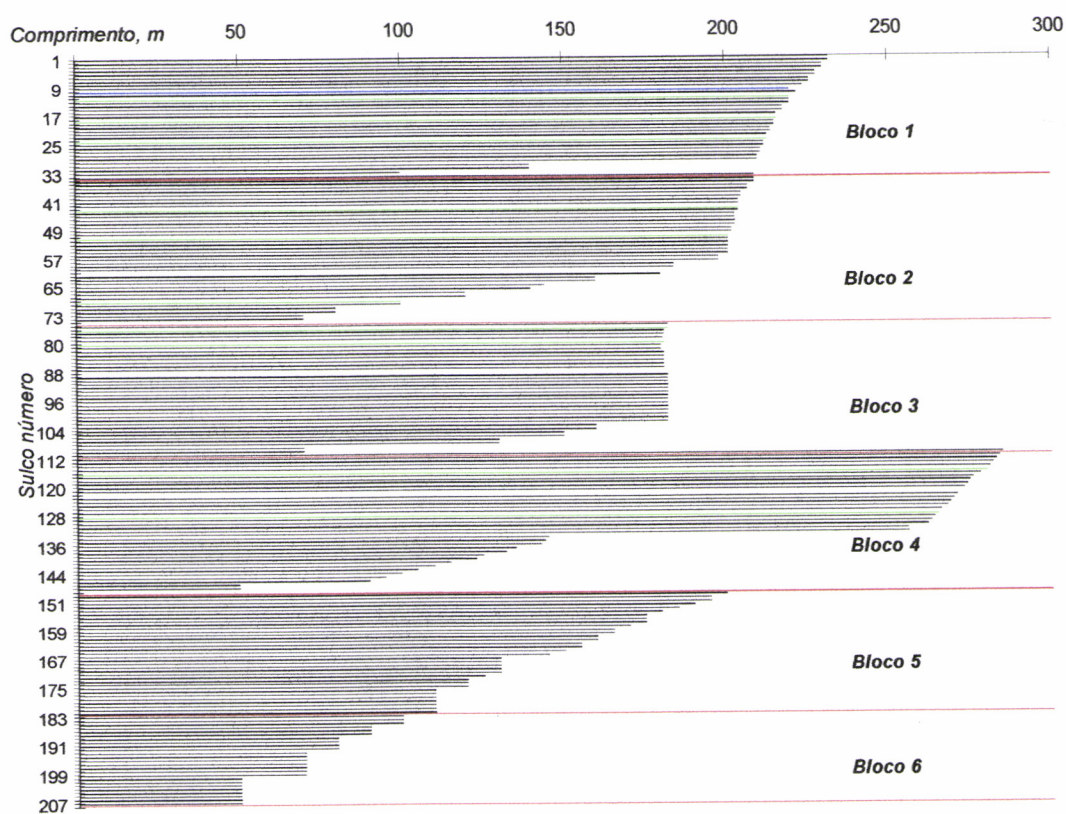


Figura 3.3 Comprimentos dos sulcos em 1999. As linhas verdes indicam os sulcos utilizados para a realização das medições.

Por outro lado, verificou-se que o tubo do cabo-rega deve ser o mais perpendicular possível aos sulcos, de modo a haver uma melhor coincidência entre os sulcos e as janelas do cabo-rega. Por isso, aproveitou-se a reorganização do terreno para re-orientar o tubo de cabo-rega, passando este a fazer um ângulo compreendido entre 80 a 90° com os sulcos.

3.3 Preparação do campo

Como a técnica mais vulgarizada da sementeira é à rasa, uma desvantagem apontada à rega de superfície é a impossibilidade da realização da eventual “rega de emergência”, quando o terreno não possui humidade suficiente para a cultura, e esta não apresenta altura suficiente para que possam ser abertos sulcos. Nestes casos, os agricultores têm de recorrer a sistemas de rega por aspersão para garantir a emergência e o crescimento da cultura. A técnica de sementeira em cima dos camalhões, em que os sulcos são abertos antes da sementeira, ultrapassa este problema, pois permite a realização de regas de emergência em qualquer momento.

Por estas razões, a sementeira foi sempre realizada em cima dos camalhões, tendo-se posteriormente realizado duas regas de germinação, de modo a garantir a emergência e o crescimento da cultura. Quando as plantas atingiam a altura em que o milho é designado por “joelheiro”, os sulcos eram reformatados, ficando com o perfil transversal final, pelo que os estudos realizados no âmbito deste trabalho se referem apenas às regas realizadas após a formatação.

Em 1997 a largura dos blocos de contorno foi definida em 30 m. Os sulcos do primeiro bloco tinham cerca de 280 m de comprimento, enquanto que os do último bloco tinham pouco mais de 100 m (ver Anexo 3.3). Após a regularização, o terreno foi gradado de modo a estar preparado para a sementeira. Os sulcos foram abertos distanciados de 1,5 m e a sementeira do milho foi realizada no dia 5 de Junho.

Em 1998, dada a compactação provocada pelas passagens sucessivas do tractor e da lâmina devido aos trabalhos de regularização, o terreno foi passado com o chisel a 30 cm de profundidade e depois efectuou-se uma gradagem antes de se abrir os sulcos com cômoros “truncados” a 1,5 m de distância. A sementeira foi realizada no dia 10 de Junho.

As técnicas convencionais de preparação do solo para a sementeira (lavoura e várias gradagens) podem prejudicar fortemente o rigor do nivelamento realizado ao efectuar movimentações laterais de terra consideráveis. A manutenção do terreno em armação permanente permite conservar o rigor do nivelamento por um período de vários anos e diminuir os custos de manutenção do nivelamento aumentando a uniformidade de distribuição de água e eficiência da rega (Chia, 1995).

Em 1999, dado o bom estado do nivelamento do terreno optou-se por utilizar o sistema de mobilização mínima, com a aplicação de herbicida para combater as infestantes da primavera. Passados 15 dias, o terreno foi passado com um destroçador, de modo a partir os colmos e eliminar as ervas ainda existentes.

O armador-derregador utilizado para preparar o terreno, (Chia, 2000), possuía discos para cortar o restolho, seguidos de dentes tipo chisel que, na linha da cultura rasgavam o terreno e colocavam o adubo à profundidade de 7-10 cm. A sementeira foi realizada no dia 12 de Maio, sobre o restolho do ano anterior, utilizando um semeador de sementeira directa. Como no ano anterior os sulcos tinham sido distanciados de 1,5 m, foi necessário abrir sulcos intermédios após as duas regas de emergência, para se obterem sulcos distanciados de 0,75 m.

3.4 Condução do ensaio

Como o campo se localiza no fim do canal de rega, apresentando cotas sensivelmente iguais às do canal, a água era primeiro canalizada para uma charca e depois bombeada em tubo para o campo. Ali, uma caixa receptora munida de uma chicana, dissipava a turbulência, passando depois, por gravidade, para uma segunda caixa munida dum descarregador triangular de soleira delgada, previamente calibrado, onde se fazia a leitura do caudal total, sendo conduzida até ao cabo-rega em tubo.

A filtragem da água era feita no próprio canal, utilizando uma rede de malha grossa. A água do canal apresentava-se bastante limpa até meados de Agosto, aparecendo posteriormente muitas algas e limos.

3.4.1 O sistema cabo-rega

Foi instalado um sistema cabo-rega com cerca de 180 m de comprimento, utilizando um tubo PVC rígido janelado, com diâmetro interno de 194 mm, munido de orifícios rectangulares, medindo 60 x 30 mm e distanciados de 0,75 m, e dotados de válvulas corredeiras, do tipo “Dam Gate”. Os troços de tubo, de 6 m, uma vez encaixados, apresentam comprimentos úteis de 5,85 m, resultando em distâncias ligeiramente mais curtas entre os dois orifícios dos extremos de tubos adjacentes.

A abertura dos sulcos deixa o terreno em espigado e o tubo pode ficar “suspense” no cimo dos camalhões, o que tem dois inconvenientes: 1) Os orifícios, ficam a uma grande altura do fundo dos sulcos, aumentando a erosão localizada, e 2) durante a rega, a água transborda para o lado exterior do tubo sendo necessário tapar os sulcos com uma enxada. Para evitar isso, o local de colocação do tubo foi gradado, deixando o terreno solto e regular para a colocação do tubo. Para a obtenção de débitos iguais nas diferentes janelas, e portanto boa uniformidade de aplicação no campo, é imprescindível que o tubo apresente um declive constante em toda a sua extensão. Através do levantamento topográfico, anteriormente executado, foi determinado que o declive do tubo deveria ser de 2,22%, sendo a sua colocação realizada com o máximo cuidado, recorrendo à ajuda de um emissor laser.

As janelas foram colocadas a um ângulo de 30° com a vertical (Kemper *et al.*, 1985), utilizando-se para esta operação um nível em “Y”, desenvolvido pelo autor, em 1996. Esse nível possui um ferro quadrangular com o qual faz um ângulo de 60°, e que é inserido nas janelas do tubo de cabo-rega, sendo o tubo rodado de modo a que o nível fique horizontal. A igual abertura das janelas ao longo de todo o tubo é conseguida através de ferros com a largura pretendida, que são inseridos nas janelas e essas ajustadas manualmente. Mais uma vez, a realização cuidada destas operações é de extrema importância para a obtenção dum caudal regular e semelhante em todos os sulcos.

O equipamento de cabo-rega propriamente dito, consistindo na caixa receptora com enrolador, motor e controlador electrónico, sofreu diversas alterações e melhoramentos ao longo do ensaio, pelo que será assunto de uma descrição pormenorizada no capítulo 5.

3.4.2 Aplicação de poliacrilamidas em 1999

Com o objectivo de minimizar o arrastamento dos sedimentos para fora do campo e ao mesmo tempo aumentar a infiltração através da estabilização dos agregados, a primeira rega realizada em 1999 foi enriquecida com uma solução contendo poliacrilamidas, PAM. A aplicação destes polímeros na água de rega tem sido testada com vista à estabilização dos agregados do solo (Martins *et al.*, 1999, 2000), tendo-se revelado útil no controlo da erosão induzida pela rega. Vários autores (Sojka *et al.*, 1998; Lentz e Sojka, 1994; Trout *et al.*, 1995) têm verificado que a realização da primeira rega com 10 ppm de PAM reduz a perda de solo até 94%, assistindo-se simultaneamente ao aumento da estabilidade da estrutura dos agregados e da infiltração média em 30%.

A aplicação generalizada de PAM a toda a área do campo, em 1999, foi realizada com uma suspensão contendo 10 ppm de PAM (cerca de 1 kg ha^{-1}), obtida adicionando lentamente à água da rega uma solução concentrada a 2400 ppm. Embora a aplicação de PAM seja apenas necessária na fase de avanço, tratando-se de um sistema cabo-rega, em que existem simultaneamente as diferentes fases de rega, a sua aplicação foi contínua durante toda a primeira rega.

3.4.3 Adubação

A adubação de fundo consistiu na aplicação de cerca de 500 kg ha^{-1} de Foskamónio 7-21-21 no momento da sementeira. A adubação de cobertura, consistindo em cerca de 200 kg N ha^{-1} , foi aplicada através da técnica de fertirrega, utilizando uma solução comercial 32 N. A dose foi repartida nas duas regas antes da floração da cultura, utilizando um simples doseador de adubo com flutuador (Santos e Sousa, 2000).

3.5 Metodologia e material de ensaio

Dadas as dimensões do campo e o grande número de sulcos existentes, decidiu-se em cada bloco concentrar as observações em três sulcos representativos das condições do bloco. O Quadro 3.1 apresenta o número destes sulcos e os respectivos comprimentos em cada ano. Estes sulcos de medição foram numerados de M1 a M18, e marcados de 20 em 20 m com uma estaca branca numerada.

Para além destes sulcos, foi seleccionado em cada ano, no troço inicial do campo, um sulco onde o sistema CaboGest faria o registo dos tempos de avanço até um ponto no meio e outro no fim do sulco. Esses tempos são necessários para o sistema determinar, em tempo real, a equação da infiltração e os demais parâmetros da rega. Este sulco, denominado “controlo”, foi seleccionado de modo a ter um perfil relativamente homogéneo.

Quadro 3.1 Os comprimentos dos sulcos controlo e de medição nos três anos de ensaios.

		1997		1998		1999	
		Sulco	comp., m	Sulco	comp., m	Sulco	comp., m
Bloco 1							
	Controlo	5	240	7	220	10	220
	M1	7	243	8	218	12	220
	M2	9	239	10	215	18	216
	M3	12	232	12	213	24	213
Bloco 2							
	M4	22	217	20	205	43	204
	M5	25	212	25	202	51	201
	M6	32	180	28	201	61	180
	M6a					69	100
Bloco 3							
	M7	42	180	42	182	76	182
	M8	45	177	46	181	80	181
	M9	49	173	50	181	88	181
Bloco 4							
	M10			62	280	116	280
	M11			65	273	122	272
	M12			68	265	128	265
Bloco 5							
	M13			82	240		
	M14			85	232		
	M15			88	126		

3.5.1 Caracterização da secção transversal dos sulcos

A caracterização da secção transversal dos sulcos é necessária, por um lado, para a determinação das equações de área e do perímetro molhado necessários para a determinação da equação de infiltração pelo método dos dois pontos e, por outro, para a modelação do avanço. No presente trabalho foi estudada também a evolução da secção hidráulica ao longo das regas, realizando leituras dos perfis no início da campanha e após regas seleccionadas.

Para a caracterização das secções transversais dos sulcos utilizou-se um perfilómetro de barras, do tipo descrito por Walker e Skogerboe (1987), o qual possui uma prancheta por detrás das barras com uma escala, permitindo a leitura dos valores no próprio local.

Nos sulcos de medição M2, M5, M8, M11 e M14 foram constituídos estações de perfilometria aos 20 m, 80 m, 140 m e 200 m. Essas estações eram constituídas por dois tubos ocos inseridos nos lados do sulco, de modo a definirem transversalmente ao sulco uma linha horizontal. Deste modo, os instrumentos de medição encaixam perfeitamente nos tubos, permitindo realizar medições consecutivas, sempre na mesma posição exacta.

Para o sistema CaboGest poder modelar a rega foram utilizados perfis médios do sulco controlo antes da rega 1. Os perfis foram determinados antes da primeira rega e utilizados durante toda a campanha, apesar de na realidade os perfis terem evoluído. Os parâmetros da geometria determinados pelo CaboGest e utilizados em cada um dos anos estão apresentados no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 Parâmetros de geometria determinados pelo CaboGest para os perfis do sulco controlo, nos três anos de ensaio.

	a_1	a_2	a	u	γ_1	γ_2
1997	1,88	0,62	0,154	2,454	2,28	0,66
1998	2,07	0,79	0,135	2,129	2,75	0,83
1999	1,25	0,73	0,157	2,089	2,07	0,83

a_1 e a_2 são os parâmetros da equação $T = a_1 y^{a_2}$

a e u são os parâmetros da equação $A = a P^m u$

γ_1 e γ_2 são os parâmetros da equação $Pm = \gamma_1 y^{\gamma_2}$

3.5.2 Profundidade do escoamento

O método dos dois pontos, como já foi referido, realiza o balanço volumétrico, pelo que a determinação do volume de água à superfície dos sulcos é importante para a estimativa do volume infiltrado, embora, na maioria dos casos, esse volume seja simplesmente estimado através do factor de forma do armazenamento superficial.

Em 1998, foi medida a profundidade de escoamento em sulcos medição no decorrer de regas seleccionadas. Para o efeito foi desenvolvido um sistema baseado numa régua com ponteiro suspenso no meio do sulco, em que a régua desliza numa tábua encaixada nas estações de perfilometria (Fig. 3.4). Para realizar a leitura, o operador desliza a régua de modo a que a ponta fique ao nível da superfície da água. As leituras eram realizadas regularmente durante as regas, e uma vez antes de cada rega, para se determinar a altura de referência (zero).

3.5.3 Medição dos tempos de avanço e de recessão

Um método expedito para a estimativa dos volumes infiltrados é a utilização dos tempos de avanço e de recessão, em conjunto com a equação de infiltração. Esses mesmos tempos podem ser também utilizados para determinar os parâmetros das qualidades das regas.



Figura 3.4 Régua deslizante utilizada na medição da profundidade de escoamento. No canto superior esquerdo pode-se ver a ponta da régua deslizante.

No início de cada rega, o programa CaboGest simula o avanço em cada um dos sulcos do campo, sendo interessante comparar os tempos simulados com os observados.

Em regas seleccionadas foram observados e registados os tempos de avanço até as estacas colocadas de 20 em 20 m nos sulcos de medição.

A fase de recessão foi observada em 1997, de modo convencional, isto é, considerando os momentos em que a água desaparecia da superfície do sulco. No entanto, a determinação da fase de recessão é algo problemática, pois, por um lado, é difícil determinar quando é que a água deixou de estar presente num determinado troço e, por outro, devido a existência de ligeiras irregularidades no declive longitudinal, existem pequenas poças onde a água permanecerá muito depois da infiltração estar concluída a jusante.

Por essa razão, a fase de recessão foi determinada, em 1998 e 1999 através da medição regular da profundidade de escoamento nas diferentes estações ao longo do sulco. Assim acompanha-se simultaneamente a depleção em todos os pontos ao longo do sulco, evitando-se erros induzidos pelas pequenas irregularidades existentes nos perfis longitudinais dos sulcos.

3.5.4 Medição dos caudais

Para a análise da qualidade das regas, torna-se necessário realizar o balanço volumétrico, utilizando para o efeito os hidrogramas de admissão e dos excedentes. Como no sistema cabo-rega existe uma redução gradual do caudal aplicado aos diversos sulcos, se bem que o programa CaboGest calcula estes valores, é útil muitas vezes conferi-los, especialmente quando existem assentamentos do tubo de rega e os caudais se desviam dos valores calculados. Para este efeito, optou-se pela medição directa dos caudais recorrendo a um recipiente com volume conhecido, previamente calibrado, e a um cronómetro. Esta opção deveu-se ao facto dos canaletes poderem afectar o fluxo da água, e portanto os tempos de avanço nos sulcos.

Para a leitura dos caudais excedentes dos sulcos de medição, foram instalados na sua extremidade a montante canaletes triangulares de soleira espessa, do tipo projectado por Replogle e Bos (1982), e adaptado por Serralheiro (1988). Todos os canaletes utilizados foram previamente calibrados no canal de testes do Laboratório de Hidrologia

do Departamento de Engenharia Rural. As observações foram realizadas descontinuamente, por observação visual da escala limnimétrica.

Em sistemas de rega onde se pretendem valores elevados de eficiência de aplicação, não existe grande margem de manobra para flutuações de caudal, pelo que se torna necessário medir com alguma precisão o caudal de entrada no sistema. Esse caudal de entrada foi medido através duma caixa munida de descarregador triangular localizada fora do campo. O caudal era controlado regularmente, pois o seu valor podia ser afectado pela presença de limos no chupador da bomba.

A observação dos caudais excedentes de cada bloco e por conseguinte do campo como um todo, foi realizada através de canaletes instalados dentro do canal colector no fim de cada bloco. Para a determinação da eficiência de aplicação global do campo, utilizaram-se os caudais totais admitidos no campo e os excedentes totais medidos no fim do canal colector. As eficiências determinadas no presente trabalho referem-se aos blocos 1-4.

3.5.5 Medição da humidade do solo

Através da medição dos teores de água no solo pode-se determinar a infiltração e calcular directamente a qualidade das regas. Recorrendo a uma sonda de meia cana, foram obtidos amostras de solo em sulcos de medição aos 20 m, 80 m, 140 m e 200 m, e às profundidades 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm em 1998 e 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-45 cm em 1999. As amostras foram recolhidas imediatamente antes de regas seleccionadas e 24 ou 48 horas depois das mesmas, consoante o estado do solo. Estas foram pesadas húmidas e depois de secas, em estufa a 105° durante 24 horas.

Naturalmente existe evapotranspiração entre a colheita de amostras antes e depois da rega que deve ser contabilizada no volume infiltrado. Esta evapotranspiração é determinada pelo método de Penman-Monteith, utilizando dados climáticos da estação meteorológica localizada no campo experimental do Divor próximo da parcela do ensaio. Na ausência de informação sobre o padrão exacto da extracção de água pelas raízes, considera-se que a água é extraída igualmente de todo o perfil explorado.

Os teores de humidade gravimétricos das amostras recolhidas antes e depois da rega são multiplicados pela densidade aparente, *Dap*, para se obter os teores de humidade volumétricos (v/v), a partir da qual se extrapola a infiltração no sulco todo.

Devido a pequena dimensão da amostra e a heterogeneidade nos teores de água no solo, surgem ocasionalmente valores manifestamente errados. Para não invalidar todo o conjunto de amostras, esses valores são corrigidos utilizando a média das amostras circundantes.

Em 1999 foram também realizadas medições de teores de humidade do solo com aparelhos do tipo TDR. Para o efeito foram instalados tubos de acesso com a profundidade de 70 cm. Os tubos foram colocados na linha da cultura (a 0,35 m do eixo do sulco). No bloco três foram também instalados tubos a 0,175 m do eixo da cultura, ou seja equidistante entre a linha da cultura e o centro do sulco. As determinações foram feitas a 10, 20, 30, 40, 50, 60 e 70 cm de profundidade, 24 horas antes e 24 horas depois de cada rega.

3.5.6 Produção de milho

A cultura do milho é muito sensível à deficiência hídrica, pelo que o crescimento das plantas e as produções obtidas são normalmente aceites como um bom indicador da qualidade geral das regas realizadas e demonstram as capacidades do sistema de rega de fornecer água às plantas nos meses de maior necessidade hídrica. Por isso, em 1999 foi medida a produção de grão e de matéria seca ao longo dos sulcos de medição, nas posições já referidas. Cada amostra consistia em plantas obtidas de três linhas adjacentes, num comprimento de 2,5 m cada, totalizando uma área de 5,6 m² por amostra. Após separadas as plantas das espigas, estas foram debulhadas com um descarolador estacionário, que procede simultaneamente à limpeza do grão. As amostras foram secas em estufa a 60°C. Para poder estimar a produção comercial (14,5% de humidade), o grão foi seco até 0% de humidade e depois o peso foi extrapolado para os 14,5% de humidade.

3.5.7 Avaliação

3.5.7.1 Avaliação das regas

Para a avaliação das qualidades das regas, utilizaram-se os indicadores mais habituais da uniformidade e eficiência, que serão seguidamente referidos brevemente por razões de conveniência.

A Eficiência de aplicação, **EA** é, de acordo com as novas normas de avaliação do desempenho da rega, elaboradas pelo grupo de trabalho da ASCE (Burt, *et al.*, 1997) a relação entre a profundidade média da água de rega que contribui para o objectivo, **Do** e a profundidade média da água de rega aplicada **Da**. A grande novidade na nova definição reside no facto de este contabilizar como útil toda a água utilizada propositadamente para objectivos específicos tal como a lixiviação de sais.

$$Ea = \frac{D_o}{D_a} 100 \quad (3.1)$$

No presente ensaio, a **Do** é determinada através do balanço volumétrico dos volumes aplicados e excedentes, considerando-se que a percolação é nula, e que toda a água infiltrada é absorvida pelas plantas, contribuindo para o objectivo.

Para além da questão de saber qual é a percentagem da água que será realmente utilizada é importante saber a uniformidade com que esta água é distribuída à cultura. A Uniformidade de distribuição **UD**, é definida como a razão entre a profundidade média de água infiltrada no quartil com as menores dotações, **Dqi** e a profundidade média de água infiltrada nos **n** pontos observados em toda a parcela, $\bar{D}$.

$$UD = \frac{Dq_i}{\bar{D}} \quad (3.2)$$

Como a **UD** não é uma medida de eficiência, o referido grupo de trabalho recomenda que seja apresentada como uma razão e não percentagem. Outro indicador útil é o coeficiente de uniformidade de Christiansen, **Cu** que utiliza a relação entre a

soma dos desvios absolutos para a média de n valores observados da dotação aplicada, com o respectivo valor total $n \bar{D} = V_a$.

$$C_u = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |D_i - \bar{D}|}{n \bar{D}} \quad (3.3)$$

No entanto a referida comissão, considerando que a Cu de Christiansen não tem uma base estatística, inclina-se para a utilização de indicadores estatísticos da uniformidade, nomeadamente o Coeficiente de Variação, CV , que é razão entre o desvio padrão das profundidades de água acumuladas, δ e a profundidade média infiltrada, $\bar{D}$.

$$CV = \frac{\delta}{\bar{D}} \quad (3.4)$$

3.5.7.2 Avaliação do sistema

Para avaliar a precisão das simulações realizadas pelo CaboGest, os tempos de avanço observados em oito regas, num total de 849 avanços individuais foram comparados com as simulações realizadas no início da rega pelo controlador. As qualidades das simulações em cada rega foram analisadas recorrendo ao desvio padrão, δ , e a média, $\bar{\Delta t}$, das diferenças entre os tempos simulados e observados,:

$$\bar{\Delta t} = \frac{\sum_{i=1}^n (t_o - t_s)}{n} \quad (3.5)$$

sendo,

- n - número de sulcos onde os tempos de avanço foram medidos;
- t_o - tempos observados, e simulados;
- t_s - tempos de avanço simulados.

Através da média, $\bar{\Delta t}$, pode-se verificar até que ponto as simulações do CaboGest subestimam ($\bar{\Delta t}$ positiva) ou sobrestimam ($\bar{\Delta t}$ negativa) os avanços.

3.5.8 Estudo da influência do caudal e da humidade do solo sobre a infiltrabilidade

Conforme será oportunamente discutido no capítulo 6, verificou-se que para poder otimizar a eficiência de aplicação nestes solos, há todo o interesse em reduzir gradualmente os módulos parcelares, acompanhando assim a diminuição natural da infiltrabilidade dos solos. No entanto, a redução do módulo parcelar, e consequentemente da profundidade de escoamento pode afectar a infiltração (Fangmeier e Ramsey, 1978; Izadi e Wallender, 1985), pelo que há todo o interesse em estudar esta relação nas condições do ensaio em solos Argiluvitados.

A diminuição da dotação aplicada em cada rega implica o aumento da frequência da rega, passando as regas a ser realizadas com teores de humidade, θ , mais elevadas. É importante estudar também a influência da humidade inicial do solo sobre a infiltração e sobre a velocidade do avanço.

Por conseguinte, foi realizado um ensaio suplementar com dez módulos parcelares diferentes (caudais de projecto constantes de 0,1 até 1 l seg⁻¹, em incrementos de 0,1 l seg⁻¹, apresentados no Quadro 3.3), repetido sob três estados de humidade do solo.

Este ensaio foi realizado após o ensaio geral, nos dias 31 de Agosto, 1 e 8 de Setembro de 1998, utilizando dez sulcos no bloco 2 (sulcos 19-28), que apresentavam um declive relativamente regular.

Os tempos de avanço foram medidos através de estacas colocadas de 20 em 20 m, até aos 200 m. Para a determinação dos hidrogramas de entrada-saída mediram-se os caudais debitados pelos orifícios do tubo janelado, utilizando um recipiente graduado, e os excedentes no fim dos sulcos utilizando canaletes. Os perfis transversais foram levantados antes do ensaio e obtido um perfil médio. Para averiguar o efeito do teor de

Quadro 3.3 Os sulcos utilizados e os respectivos caudais de projecto (l seg⁻¹).

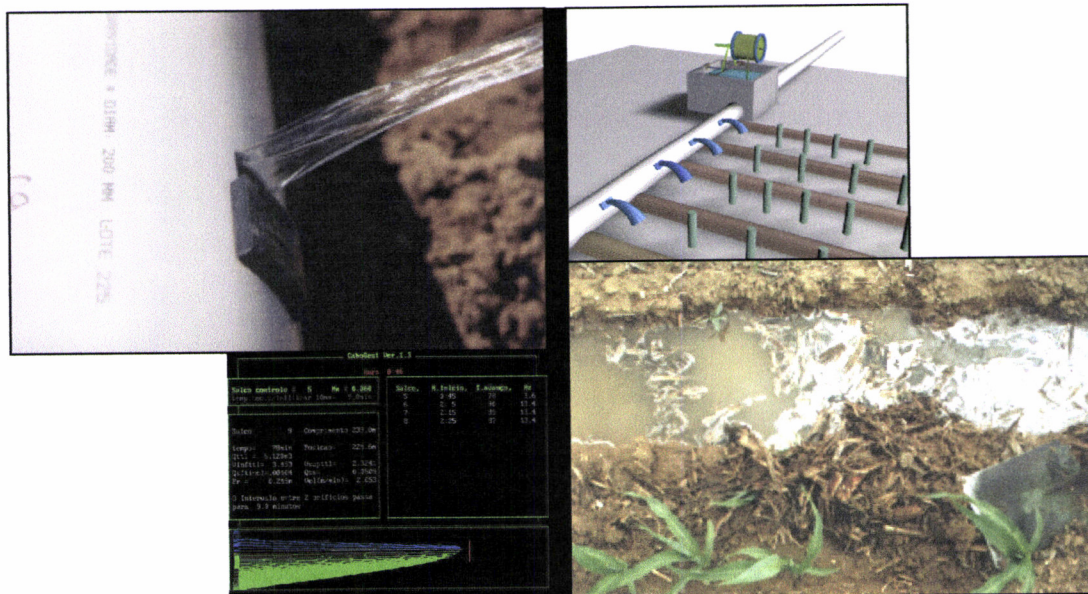
Sulco	20	21	22	23	24	25	26	27	28	19
Caudal	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

humidade inicial do solo sobre a infiltração o ensaio foi repetido três vezes com o solo próximo da capacidade do campo, do coeficiente de emurchecimento e apresentando um teor de água intermédio (respectivamente 25, 16 e 22% vol.). O corte de fornecimento de água foi realizado cerca de 60 minutos depois do fim de avanço.

O volume total infiltrado foi calculado realizando um balanço volumétrico entre os volumes admitidos e os excedentes, admitindo a percolação desprezável neste tipo de solo.

Capítulo IV

Desenvolvimento do programa CaboGest



4 Desenvolvimento do programa CaboGest

Um dos principais problemas apresentados pelos solos Argiluvitados é a sua baixa infiltrabilidade, que dificulta a rega. A imposição de valores pequenos para os declives dos sulcos reduz a velocidade do avanço da água e prolonga a duração da fase de avanço e consequentemente da rega, aumentando assim a dotação que pode ser aplicada em cada rega. Para obter esses declives reduzidos e simultaneamente contribuir para a conservação do solo e de água, pode-se recorrer à organização do campo em blocos de contorno, aproveitando os contornos naturais do terreno. No entanto, a rega dos blocos de contorno apresenta o desafio acrescentado da variação dos comprimentos dos sulcos de um bloco para outro e dentro do próprio bloco, o que exige o ajustamento constante da velocidade do êmbolo ao comprimento dos sulcos. O programa CaboGest aborda a questão da variabilidade dos comprimentos dos sulcos simulando individualmente o avanço em cada sulco do campo, utilizando posteriormente os tempos obtidos para gerir a rega.

A versão original do programa CaboGest foi desenvolvida em linguagem Basic pelo autor em 1996, com uma estrutura aberta passível de adaptações e melhoramentos por terceiros.

Ao longo dos três anos do presente ensaio teve lugar uma constante melhoria do programa original. Duma forma geral pode-se afirmar que a base teórica do modelo não foi alterada, mantendo-se o modelo de onda cinemática original, tendo-se procurado antes introduzir melhorias ao nível dos algoritmos de cálculo e da estrutura do programa, no sentido de maior precisão e aceleração do processo de cálculo. Outras melhorias introduzidas estão relacionadas com o controlo e gestão global da rega e com aspectos de pormenor, tal como a possibilidade de continuação da rega após uma falha de energia, e a resolução do problema da rega continuar para além da meia noite.

Houve também a preocupação de simplificar a apresentação geral do programa, reduzindo ao mínimo a informação apresentada ou pedida ao utilizador (Fig. 4.1). Quase toda a informação relativa a modelação do avanço foi omitida, aumentando no entanto a informação fornecida sobre a evolução da rega, tal como a hora do fim da rega, a duração total e a dotação real aplicada. Os diálogos com o utilizador, como por exemplo o pedido da dotação pretendida, passaram a ter um compasso de espera limitado, e caso o utilizador não esteja presente ou não seja introduzido nenhum valor, o programa continuará o seu curso normal utilizando os valores padrão. Assim a evolução mais visível no programa é a sua crescente transformação num controlador de rega em condições do campo.

Foi também desenvolvido um novo modelo que, utilizando uma simulação do último para o primeiro sulco do campo, procura obter uma maior aproximação da simulação realizada à realidade da rega.

4.1 O método CaboGest

O programa CaboGest possui uma base de dados com os parâmetros relativos ao sistema da rega e ao campo que incluem o comprimento (m) e o declive dos sulcos (m m^{-1}) e a distância entre eles (m), dados da geometria transversal dos sulcos (pares de valores T e y em m), o declive do tubo (m m^{-1}), o caudal total (l min^{-1}) e o diâmetro equivalente dos orifícios (mm). No início da rega, o programa permite alterar estes valores através de um menu interactivo.

Após determinar os caudais debitados por cada um dos orifícios, o programa aguarda pelos tempos de avanço até ao meio e fim de um sulco pré-seleccionado (sulco controlo) e determina a equação de infiltração, do tipo Kostiakov, recorrendo ao método do balanço volumétrico de Elliot e Walker (1982).

Com base na curva de infiltração, CaboGest recomenda uma dotação, correspondendo ao momento em que o declive da curva, ou seja, a infiltração instantânea, atinge o valor de $0,5 \text{ mm min}^{-1}$. No entanto, permite ao operador introduzir outros valores, se desejado. O coeficiente de rugosidade de Manning é determinado através da comparação do tempo de avanço medido no sulco controlo com o valor simulado.

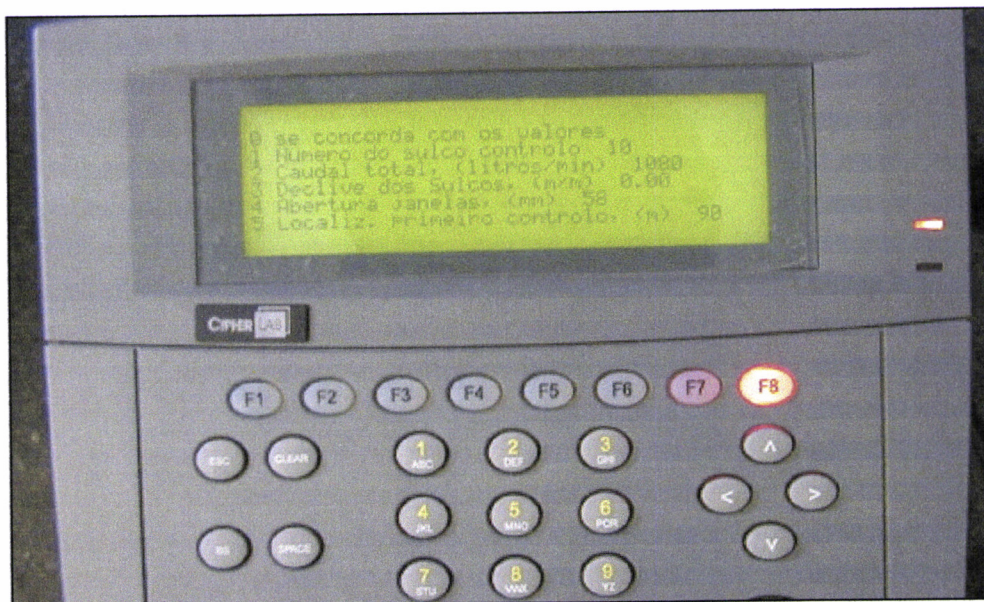


Figura 4.1 Uma caixa de diálogo do CaboGest solar, onde a troca de informação é minimizada.

O passo seguinte consiste na modelação da rega nos vários sulcos do campo, utilizando os parâmetros da infiltração já determinados. Os tempos de avanço simulados são utilizados em seguida para determinar a velocidade do deslocamento do êmbolo durante a rega. A Figura 4.2 apresenta um esquema simplificado dos diferentes passos do programa. A estrutura do programa está apresentada em Anexo 4.1.

4.2 Modelação do escoamento

Devido à diminuição gradual dos caudais de entrada e a variação do comprimento dos sulcos, é necessário modelar o escoamento em cada sulco de modo a obter os respectivos tempos de avanço. O programa utiliza um modelo de onda cinemática, que recorre à equação de Manning para a determinação do armazenamento superficial e da velocidade do escoamento. A coerência do método é garantida pelo facto do armazenamento superficial ter também sido estimado pelo uso da mesma equação.

O modelo utiliza um ciclo de tempos e, para cada intervalo de tempo t , determina o espaço percorrido pela frente de avanço. Em cada novo intervalo de tempo uma nova célula é introduzida na ponta, e as outras células se deslocam para atrás. Por sua vez o sulco é dividido em s células correspondentes aos espaços

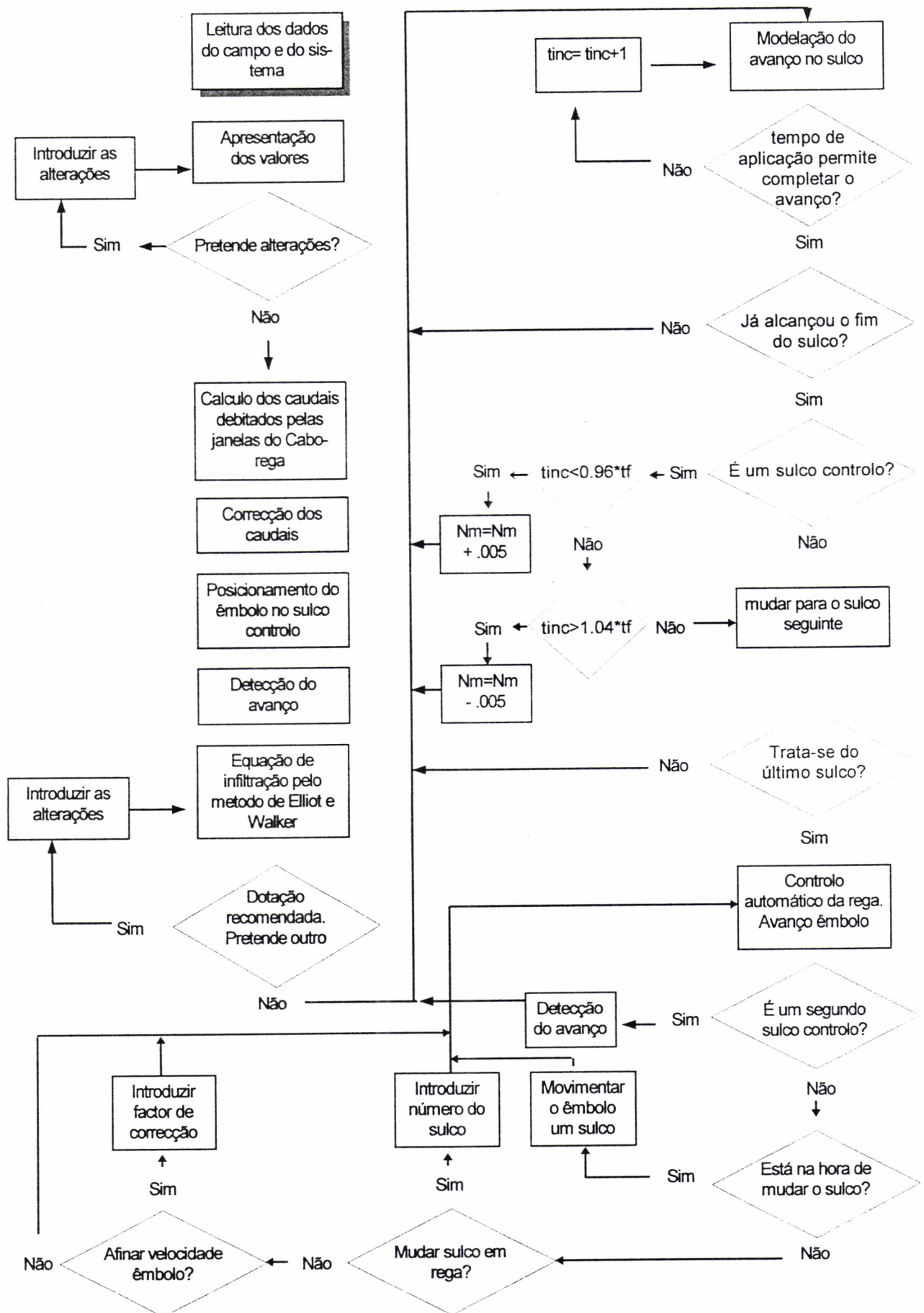


Figura 4.2 Fluxograma simplificado do programa CaboGest.

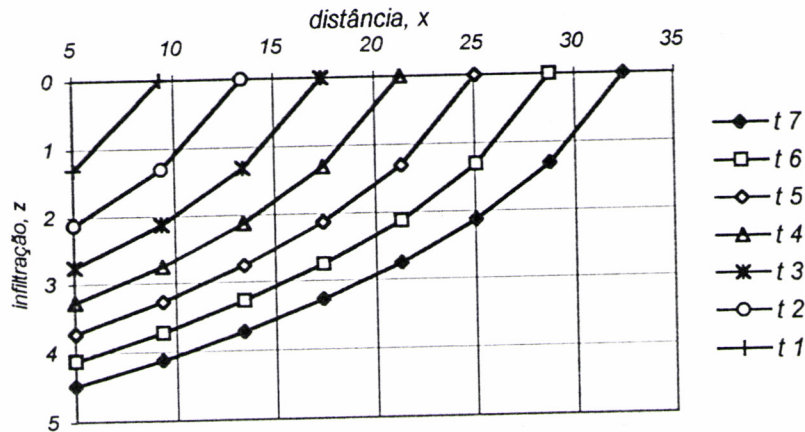


Figura 4.3 Malha das células computacionais no plano x - z , para incrementos de t consecutivos.

percorridos pela frente de avanço em cada um dos intervalos de tempo sucessivos. Isto origina uma grelha computacional no plano x - z , do tipo apresentada na Figura 4.3.

O modelo CaboGest utiliza incrementos constantes de tempo iguais à unidade (1 minuto), igualando numericamente os valores de velocidade (m min^{-1}) com os espaços (m), e o valor de caudais ($\text{m}^3 \text{min}^{-1}$) com os volumes (m^3), o que simplifica o algoritmo de cálculo.

Ao percorrer a malha espaço-tempo ao longo do comprimento de um determinado sulco, o programa calcula os seguintes parâmetros para cada incremento de tempo de um minuto desde o início da rega no sulco:

- A velocidade do avanço Vel , em m min^{-1} , ou seja, o espaço percorrido no incremento;
- A infiltração acumulada em todos os incrementos anteriores, V_{infttl} , em m^3 ;
- O armazenamento superficial em todos os incrementos anteriores, V_{supttl} , em m^3 ;
- O caudal disponível para o incremento seguinte, $Q_{(s+1)}$, em $\text{m}^3 \text{m}^{-1}$.

A seguir está apresentada a metodologia utilizada para o cálculo de cada um destes parâmetros.

4.2.1 Cálculo da velocidade de avanço

Sob condições uniformes, presumindo um perfil regular no sulco, pode-se estabelecer uma relação generalizada entre o caudal aplicado Q , em $\text{m}^3 \text{min}^{-1}$, a geometria do sulco e o seu declive, utilizando a equação do fluxo uniforme de Manning (Eq. 2.1). É habitual presumir uma relação de potência entre a área A , e o Perímetro molhado Pm :

$$A = a Pm^u \quad (4.1)$$

sendo,

a e u - coeficiente e expoente da equação da geometria do sulco.

Para cada incremento de tempo de um minuto, o espaço percorrido é numericamente igual à velocidade, Vel , e é determinado através da seguinte expressão (obtida por substituição de 4.1 em 2.1):

$$V_{el} = a_v Q \left(Q \frac{n}{\sqrt{S}} \right)^{-3u/(5u-2)} \quad (4.2)$$

com:
$$a_v = a^{2/(5u-2)} \quad (4.3)$$

Como o incremento de tempo é um minuto, a distância percorrida no incremento (m) é numericamente igual à velocidade do avanço (m min^{-1}), ficando armazenada em memória.

4.2.2 Cálculo do volume infiltrado

O volume infiltrado em cada instante na célula i , $V_{inf(i)}$, em m^3 , é determinado multiplicando a infiltração instantânea pelo comprimento da célula $E(s)$:

$$V_{inf(i)} = E(s) a k \tau^{(a-1)} \quad (4.4)$$

sendo,

$E(s)$ - espaço percorrido no incremento, m;
 τ - tempo de infiltração, min.

O tempo de infiltração τ , num ponto localizado a uma distância d do início do sulco, é dado por:

$$\tau = t - ts \quad (4.5)$$

sendo,

t - tempo desde o início da rega no sulco, min;
 ts - tempo de avanço até ao ponto d , min.

O volume infiltrado em cada incremento de tempo, V_{infl} , ao longo de todo o sulco, será, portanto, determinado por:

$$V_{infl} = \int_0^s E(s) k a \tau^{a-1} ds \quad (4.6)$$

E o volume total infiltrado desde o início da rega no sulco, V_{infttl} é dado por:

$$V_{infttl} = \int_0^t \int_0^s E(s) k a \tau^{a-1} ds dt \quad (4.7)$$

4.2.3 Cálculo do armazenamento superficial

Em cada célula a área da secção transversal do armazenamento superficial A é calculada a partir do caudal utilizando a seguinte expressão, obtida a partir da equação do fluxo uniforme de Manning.

$$A = a_a \left(Q \frac{n}{\sqrt{S}} \right)^{3u / (5u-2)} \quad (4.8)$$

onde:

$$a_a = a^{-2 / (5u-2)} \quad (4.9)$$

O volume armazenado superficialmente V_{sup} , é determinado multiplicando em cada incremento a área da secção transversal pelo comprimento do incremento $E(s)$.

$$V_{\text{sup}} = E(s) A \quad (4.10)$$

O volume total armazenado superficialmente V_{supttl} , será o volume armazenado durante este intervalo do tempo e nesta célula do sulco, mais o volume armazenado nas células anteriores.

$$V_{\text{supttl}} = \int_0^s A(s) E(s) ds \quad (4.11)$$

4.2.4 Cálculo do caudal disponível para o incremento seguinte

No fim de cada incremento do tempo o volume de água disponível para o incremento de tempo seguinte t_{i+1} , é determinado através da realização dum balanço volumétrico dos volumes admitidos, infiltrados e armazenados superficialmente em todas as células do sulco percorridas até ao instante t , desde o início da rega no sulco:

$$Q_{(s+1)} = (V_{\text{ttl}} - V_{\text{infittl}} - V_{\text{supttl}})/t_{\text{inc}} \quad (4.12)$$

sendo,

$Q_{(s+1)}$ - caudal disponível para o incremento $i+1$, $\text{m}^3 \text{min}^{-1}$;
 V_{ttl} - volume total admitido no sulco, m^3 ;
 t_{inc} - tempo desde o início da rega no sulco, min.

O ciclo repete-se, minuto a minuto até se alcançar o fim do sulco ou terminar a alimentação do mesmo.

Devido à grande infiltrabilidade inicial do solo, e porque o espaço percorrido no incremento é calculado antes da contabilização da infiltração no incremento, podem surgir casos em que o $Q_{(s+1)}$ resulte negativo. Nestes casos o programa reduz o espaço percorrido no incremento e diminui o armazenamento superficial, disponibilizando este para ser infiltrado. Um fluxograma do modelo descrito está apresentado na Figura 4.4.

4.2.5 Perímetro molhado

O perímetro molhado é calculado de acordo com a seguinte expressão deduzida da equação de Manning:

$$Pm = a_p \left(Q \frac{n}{\sqrt{S}} \right)^{3/(5u-2)} \quad (4.13)$$

com: $a_p = a^{-5/5u-2} \quad (4.14)$

O CaboGest possui a opção de calcular a infiltração em função do perímetro molhado. Porém, em vez de simplesmente multiplicar a infiltração (Eq. 4.4) pelo

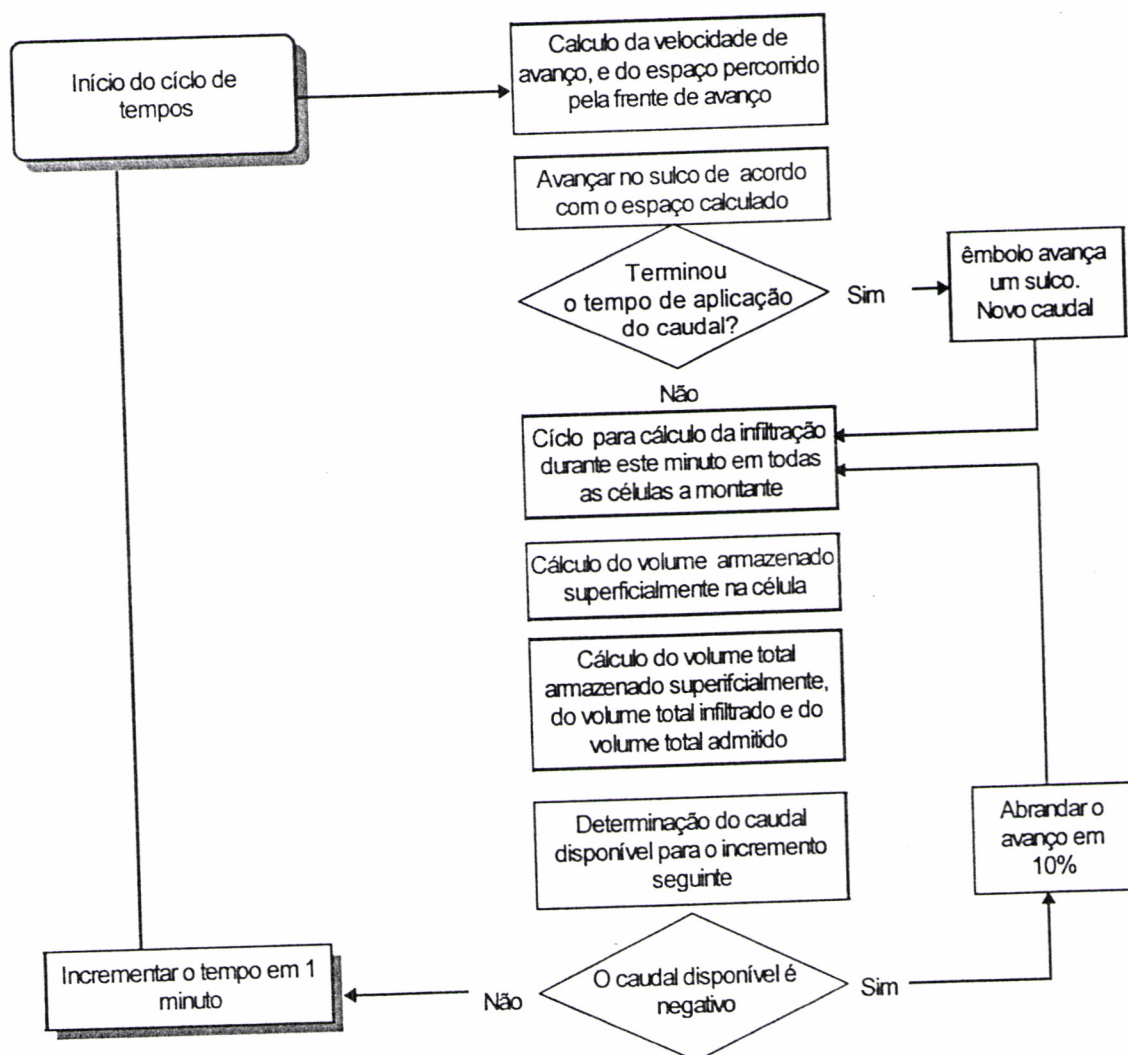


Figura 4.4 Fluxograma simplificado do modelo de simulação CaboGest.

perímetro molhado, o programa utiliza a relação Pm/Pm_0 , (sendo Pm_0 , o perímetro molhado para o caudal máximo) que relaciona a infiltração num determinado local do sulco com a infiltração máxima verificada à cabeceira do mesmo.

4.2.6 Determinação do coeficiente de rugosidade de Manning

Em cada rega, o programa determina o coeficiente de rugosidade de Manning, através da comparação dos valores dos tempos de avanço medidos no sulco de controlo com os valores simulados, ajustando o coeficiente n , de modo a obter valores semelhantes, com um erro de $\pm 3\%$. Isto é feito por um processo iterativo, com o valor inicial de $n = 0,04$, que é aumentado ou diminuído de incrementos de 0,005 se o programa sub ou sobrevalorizar os tempos de avanço.

4.2.7 Sistema de apoio à decisão

As duas questões mais importantes na agricultura de regadio são “quando regar” e “quanto regar”. A existência de mecanismos de apoio à decisão pode aliviar o dia-a-dia do agricultor e simultaneamente reduzir os custos através da optimização do uso da água e redução do número de regas.

Nestes solos Argiluvitados com problemas específicos de permeabilidade, o programa CaboGest tenta resolver a questão de quanto regar recorrendo à equação da infiltração determinada durante a rega, considerando que quanto maior a infiltrabilidade observada, maior poderá ser a dotação aplicada sem perdas excessivas por excedentes. O CaboGest optimiza esta dotação em função da infiltração instantânea e considera que a partir de um valor pré-definido ($0,5 \text{ mm min}^{-1}$), os acréscimos de infiltração obtidos não justificam o prolongamento do tempo de aplicação. O programa determina este ponto óptimo e recomenda-o no início da rega, podendo o operador aceitá-lo ou introduzir outro valor que julgue mais conveniente.

4.3 Novas funcionalidades do CaboGest

Uma das características inerentes à agricultura é a grande variabilidade existente entre os campos de cultivo em termos de topografia, tipo de solo, formato, etc., pelo que para cada parcela será necessário elaborar uma solução à medida. Um controlador de rega programável dá a flexibilidade necessária para adaptar o funcionamento do sistema às características do terreno e às preferências do agricultor. Assim são desenvolvidos neste trabalho várias funcionalidades que poderão ser ou não incluídas num determinado sistema a instalar num determinado campo.

No decorrer do presente trabalho foram desenvolvidas três versões paralelas do programa CaboGest consoante a utilização pretendida: uma versão para funcionar em controladores tipo PC e outra para controladores CipherLab (ver secção 5.7.3), e uma versão com simulação inversa (programas fornecidos em suporte magnético no fim dos anexos).

A utilização do controlador CipherLab implicou a adaptação completa do programa (Anexo 4.2), dadas as limitações inerentes deste sistema. A limitação de não possuir a função logarítmica, utilizada frequentemente no método de dois pontos, foi ultrapassada através de inclusão de uma tabela que é consultada pelo programa sempre que necessário.

4.3.1 Simulação inversa da rega no campo

Devido ao modo de funcionamento normal do cabo-rega o volume de água aplicado num determinado sulco é afectado pelos tempos de aplicação nos sulcos a jusante. Isto porque, à medida que o êmbolo se desloca, são regados um conjunto de sulcos a montante e a sua velocidade de deslocamento ditará os volumes aplicados nestes sulcos.

O Programa original simula o avanço no campo começando do primeiro sulco e acabando no último, modelando o avanço em cada sulco assumindo que os sulcos imediatamente à volta têm um comprimento semelhante, ou seja que os tempos de avanço simulados para um determinado sulco são semelhantes aos dos seus sulcos vizinhos. No entanto, na realidade, quando o terreno é organizado em blocos de

contorno, assistem-se a variações significativas no comprimento dos sulcos localizados no fim dos blocos.

Assim, para uma gestão mais racional da rega e dos volumes aplicados em blocos de contorno, torna-se necessário ter em atenção a posição específica de cada sulco.

Por isso, em 1999 foi desenvolvida uma nova versão do programa, (versão 3i), capaz de simular a rega partindo do último sulco do campo para o primeiro. Deste modo, aquando da simulação de avanço num determinado sulco, o programa já possui e utiliza os tempos de aplicação nos sulcos a jusante que irão influenciar a rega no referido sulco. A simulação assim realizada faz com que os cálculos de avanço efectuados para cada sulco representem mais rigorosamente o que se irá passar depois na realidade. Desta forma, por exemplo, o êmbolo poderá passar sem paragem pelos sulcos curtos localizados no fim dos blocos, pois estes antecedem sulcos mais compridos no bloco seguinte, aproveitando assim melhor o tempo e a água utilizada para regar estes sulcos mais longos.

No programa CaboGest a variável *Tint* representa o intervalo de tempo entre dois sulcos e dita a duração de aplicação dos caudais de entrada, $Q(i)$, enquanto o programa modela o avanço ao longo das células do sulco. Na modelação normal dum determinado sulco considera-se que o êmbolo tem um ritmo de deslocamento constante e portanto consideram-se intervalos de tempo, *Tint* iguais enquanto o modelo percorre as células do sulco. No modelo proposto, os tempos relativos ao deslocamento do êmbolo para os sulcos a jusante já estão determinados, ou seja, os valores de $Tint(2)$ até $Tint(f)$ (sendo f o número de orifícios debitando em simultâneo) já são conhecidos e podem não ser todos iguais (Fig. 4.5). Assim, a modelação ao percorrer as células de tempo ao longo do sulco deve determinar o valor de $Tint(1)$ (Ou seja o tempo de aplicação com o caudal máximo) que permite completar o avanço no sulco, modelando o avanço nas restantes células do sulco utilizando os tempos de aplicação ($Tint(2)$ a $Tint(f)$) já calculados para os caudais $Q(2)$ a $Q(f)$.

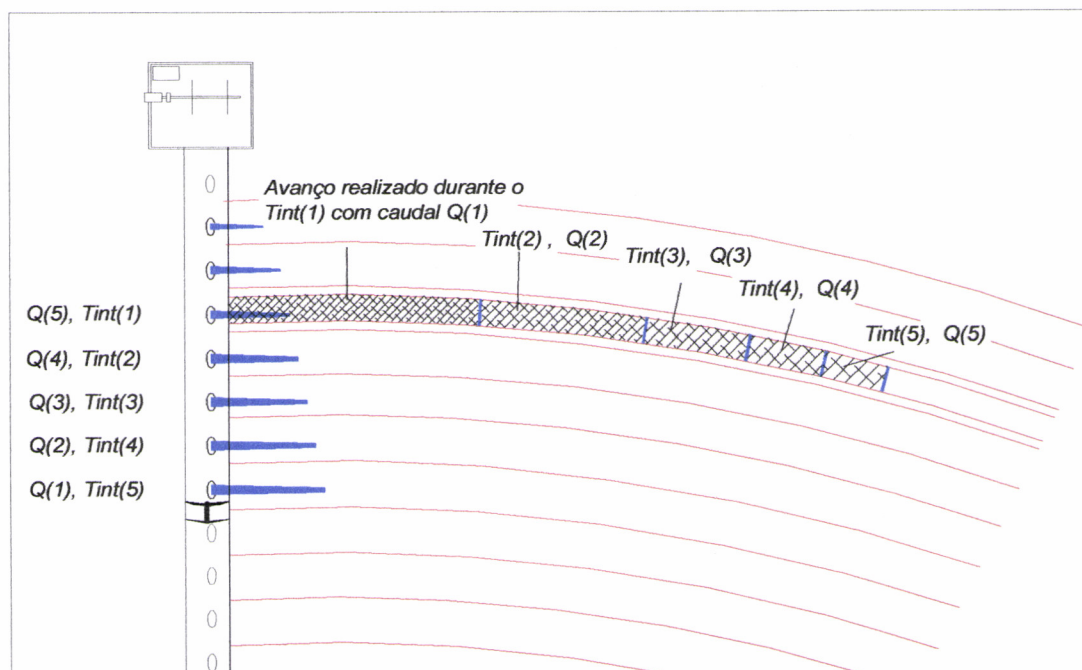


Figura 4.5 Esquema representativo do avanço num determinado sulco, mostrando como os tempos de aplicação nos sulcos a jusante, $Tint(i)$, influenciam o avanço no referido sulco.

Esta gestão da rega no campo como um todo, pode potencialmente reduzir a duração da rega, proporcionando uma poupança de água e uma melhor uniformidade da rega em todo o campo através da maior precisão da modelação da rega. O código fonte desta versão do programa (Versão 3i) está apresentado em Anexo 4.3.

4.3.2 Controlo da evolução da rega em pontos múltiplos

Uma evolução natural do método CaboGest é a possibilidade de poder conferir a evolução da rega em vários pontos estratégicos no campo. Esta possibilidade reveste-se de particular interesse quando existem zonas com diferentes tipos de solo ou declives que podem afectar as características da rega. Para o efeito são seleccionados um ou mais sulcos no início das áreas que apresentam características diferentes e instalados dois sensores de água em cada um: a cabeceira e a uma distância conveniente (100-150 m), de modo a poder-se monitorar o avanço no sulco e comparar os tempos obtidos com os tempos simulados pelo modelo, e com base nos resultados obtidos realizar correcções convenientes na rega.

No entanto, as diferenças porventura existentes entre os tempos observados e simulados podem dever-se a variações na infiltrabilidade, formato do sulco/ profundidade de escoamento e a rugosidade superficial, entre outros factores, pelo que existe um vasto leque de parâmetros onde o programa poderia realizar a ou as correcções. Ciente deste facto, mas tendo em atenção a natureza prática do modelo, e a impossibilidade de destrançar com exactidão as causas das diferenças nos avanços, optou-se por realizar a correcção através do coeficiente da rugosidade superficial do sulco, *n*, que por sua vez tem repercussões directas sobre a profundidade de escoamento e a infiltração.

Deste modo, o programa ao regar um destes sulcos de controlo localizados ao longo do campo, recolhe os tempos de avanço, *tf*, até ao segundo sensor, e compara com os valores simulados pelo modelo, *tinc*. A sincronização dos dois tempos é realizado através do ajustamento do valor de *n* de Manning, recorrendo a um processo iterativo.

Em seguida, o programa simula de novo o avanço nos restantes sulcos do campo, utilizando o novo valor de rugosidade.

```
IF SULCO = CONT(ZC) THEN 2250
.....
IF TINC > 1.04 * TF THEN NM=NM - .005: GOTO 2040
IF TINC < .96 * TF THEN NM=NM + .005: GOTO 2040
```

*Quadro 4.1 Algumas linhas do programa que ao atingir um sulco de controlo da rega, recorrendo a um processo iterativo, compara os tempos de avanço simulados, **tinc**, com os observados, **tf**, e realiza o ajustamento necessário no coef. de rugosidade de Manning, **n** (designado como o variável **Nm** no programa).*

4.3.3 Correcção dos caudais calculados para os orifícios

A determinação dos caudais debitados pelos orifícios do cabo-rega é realizada pelo CaboGest com base num procedimento apresentado originalmente por Kincaid (1991). O Caudal debitado por cada orifício, *Qo*, em l min⁻¹, é calculado através da seguinte equação:

$$Q_o = 0,0066 C_d D^2 \sqrt{h} \quad (4.15)$$

sendo,

- h - carga piezométrica no orifício, mm;
- Cd - coeficiente de descarga, normalmente 0,65;
- D - diâmetro equivalente das janelas, mm (O diâmetro equivalente é o diâmetro de um círculo com uma área igual ao da janela).

Sendo, por sua vez, a carga piezométrica no orifício, h , em mm dada por:

$$h = 13.8 \, Di \left(\frac{C}{150} \right)^{.76} S^{1.03} \left(\frac{Q}{Qt} \right)^{.46} \left(\frac{Fmm \, Di}{D^2} \right)^{.56} \quad (4.16)$$

sendo,

- Fmm - distância entre os orifícios, mm;
- Di - diâmetro interno do tubo, mm;
- C - coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams;
- Q - caudal admitido no cabo-rega, l min⁻¹;
- Qt - capacidade de transporte do tubo, l min⁻¹.

Existem dois métodos possíveis para a modelação dos caudais debitados pelos orifícios. Uma primeira possibilidade é começar pelo orifício mais a jusante e calcular o caudal debitado por este, subtraindo ao total o caudal desse orifício. O processo é seguidamente repetido para o orifício imediatamente a montante e assim por diante, até acabar o caudal disponível. O problema com esta opção reside no facto de a partida não se saber qual é a carga piezométrica no tubo, pelo facto da carga (ou seja, a extensão do regolfo) e os caudais debitados se influenciarem mutuamente, tornando-se necessário arbitrar a carga piezométrica sobre o primeiro orifício e recorrer a um processo iterativo para fazer corresponder o número de orifícios à extensão do regolfo no tubo.

Uma segunda possibilidade é começar com o orifício mais a montante que está a debitar, assumindo para este orifício, uma carga igual a metade da distância entre dois orifícios. Também nesta opção, o caudal debitado por cada orifício é calculado e subtraído ao caudal total, de modo a se saber o caudal disponível para o orifício imediatamente a jusante.

Para o CaboGest optou-se por utilizar para a modelação dos caudais este segundo método por ser mais directo e exigir menos tempo computacional,

encontrando-se pormenorizadamente descrito no Anexo 4.4. No entanto, verifica-se que muitas vezes, o somatório dos caudais calculados para os diferentes orifícios é superior ao caudal total admitido no sistema. Isto porque o procedimento é repetido enquanto ainda houver algum caudal no tubo, e o caudal efectivamente disponível para o último orifício pode ser inferior ao caudal simulado.

Por isso, foram inseridos no modelo instruções para efectuar um balanço volumétrico dos caudais simulados para os diferentes orifícios, $Q_{c(i)}$, em $l\ min^{-1}$. Posteriormente, é realizado uma correcção proporcional em cada um dos caudais dos vários orifícios de modo a igualar o somatório dos caudais simulados ao caudal total admitido no sistema (linha 1600), obtendo-se assim os caudais corrigidos, $Q_{(i)}$, em $l\ min^{-1}$, o que pode ser expressa da seguinte forma:

$$Q_{(i)} = Q_{c(i)} \frac{Q}{\sum_{i=1}^n Q_{c(i)}} \quad (4.17)$$

4.3.4 Regas com duração de vários dias

Um pouco parecido com o “Bug do Milénio”, o relógio interno dos computadores volta para zero à meia noite. Como o CaboGest utiliza esse relógio interno para controlar a rega, tornou-se necessário incluir uma rotina que detecta a passagem da meia noite e faz a correcção necessária para o funcionamento contínuo do sistema.

```

TIME = TIMER: H2 = INT(TIME / 3600): M2 = INT((TIME - H2 * 3600) / 60)
MUDAR = TC(EMBOLO)
IF TIMER <= 600 THEN HR24 = 1440: REM SE PASSA DA MEIA NOITE, REDUZ 24 HORAS
NAS HORAS DA REGA
IF TIME / 60 < MUDAR + HORA0 - HR24 THEN 6100

```

Quadro 4.2 Nessas linhas o programa verifica a hora (TIMER) e calcula as horas e os minutos (H2 e M2). Posteriormente, se tiver passado da meia noite (TIMER <=600), então retira 24 horas aos tempos calculados para o deslocamento do êmbolo (24 horas são 1440 minutos).

4.3.5 Outras funções

Para facilitar a gestão da cultura pelo agricultor, o programa determina a dotação real média, e a profundidade total de água aplicada até a data, recorrendo para o efeito aos dados da duração da rega e dos caudais admitidos. Os valores obtidos deste modo serão naturalmente diferentes da dotação teórica calculada pelo CaboGest para o ponto mais desfavorável do campo.

Por outro lado, o programa agora permite uma supervisão manual da rega, onde é possível avançar ou parar o êmbolo, para além de acelerar ou abrandar o seu andamento, caso o operador detecta alguma anomalia na qualidade da rega. O sistema regressa ao modo automático após as alterações.

Os parâmetros calculados durante cada rega são armazenados num ficheiro separado (em controladoras tipo PC), que o programa pode recuperar após uma falha de energia.

Capítulo V

Desenvolvimento do equipamento CaboGest



5 Desenvolvimento do equipamento CaboGest

O objectivo principal deste trabalho é o desenvolvimento de sistemas cabo-rega, tendo em vista a sua automação e, consequentemente, a sua melhor adaptabilidade às condições de rega e de topografia dos solos Mediterrâneos, os mais representados no Alentejo, bem como a sua adequada utilização pelos agricultores. Diversos autores têm desenvolvido sistemas de rega de superfície com retorno de informação do campo, recorrendo a vários graus de automatização (Katapodes *et al.*, 1990; Braz, 1994; Fekersillassie e Eisenhauer 2000a), tendo-se avançando pouco no desenvolvimento do equipamento necessário para a sua utilização prática no campo.

Partindo de um modelo de gestão de rega viável, o sistema CaboGest original foi ao longo dos três anos de ensaios sujeito a transformações, que não só aumentaram o nível de automação da rega, como o adaptaram às suas funções enquanto máquina de rega fiável, preparado para suportar as condições do campo, tais como altas temperaturas, flutuações do caudal ou falhas mecânicas. Foram desenvolvidos também vários equipamentos auxiliares que aumentam a funcionalidade do cabo-rega, podendo ser dimensionados e adaptados às condições topográficas e de infiltração de cada campo.

De seguida descreve-se a evolução do controlador de rega e de todo o sistema, bem como o desenvolvimento de três novos controladores alternativos.

5.1 Evolução do controlador CaboGest

Em 1996 o autor tinha desenvolvido um sistema de controlo da rega baseado num computador de pequeno porte que controlava a rega no campo (Fig. 2.10), o que pela sua fragilidade e número elevado de componentes não representava uma solução viável para um equipamento de rega a ser utilizado pelos agricultores.

No presente trabalho foi desenvolvido um computador simples baseado numa placa-mãe e um processador Pentium ou equivalente. Sobre esta placa-mãe está instalada uma placa gráfica que controla um écran LCD de 20x80 caracteres, que serve de interface entre o utente e o sistema. Foi instalado uma unidade de diskettes de 3.5" que serve para actualizar o programa ou inserir os parâmetros relativos ao campo, e da mesma forma retirar dados das regas já realizadas, tais como os volumes de água utilizados, as equações de infiltração e a evolução da rugosidade. Posteriormente, e para evitar falhas nas diskettes que podiam provocar a paragem da rega, foi incluído um pequeno disco rígido. Um teclado numérico permite ao operador introduzir as informações necessárias à gestão da rega, tal como a dotação pretendida, alterações à velocidade do deslocamento do êmbolo, etc.



Figura 5.1 O controlador CaboGest em 1999, mostrando a écran LCD e o teclado numérico montados na face interna da caixa.

Todos os componentes do controlador foram instalados numa caixa hermética Cagilux 21Z, do tipo utilizado para os quadros eléctricos. Os diversos controlos e a interface com o utente foram instalados na face interna da caixa, permitindo o acesso fácil aos mesmos, uma vez aberta a porta (Fig. 5.1). O controlador foi colocado num poste metálico próximo da cabeceira do campo. Deste modo, obteve-se um controlador adaptado às condições de campo, podendo aí permanecer permanentemente, constituindo uma solução mais atractiva para os agricultores.

5.1.1 Automação do arranque e paragem da rega

Como as regas podem prolongar-se até altas horas da manhã, ou pode ser preciso iniciá-las durante a noite, a automatização do sistema só está completa quando permitir o início e fim automático da rega programada, sem necessidade da presença do agricultor.

Este aspecto fundamental foi conseguido com a utilização de um relógio temporizador semanal. Assim, foi seleccionado o relógio programável semanal ABB ETS7/R que permite, em conjunto com um agrupamento de relés, o arranque e a paragem automática da rega, de acordo com as horas determinadas pelo sistema e introduzidas pelo operador. O quadro do CaboGest comunica por um cabo com a electroválvula ou o contactor (Esquema de ligação do contactor com comando a distância apresentado em Anexo 5.1) que comanda o fornecimento da água ao campo, pelo que no fim da rega, o relógio pode desligar todo o sistema electrónico e terminar o fornecimento da água (instalação eléctrica apresentada no Anexo 5.2).

A utilização de dois disjuntores independentes e de relés separados para a bomba e para o quadro permite que um único relógio temporizador possa comandar esses dois aparelhos, podendo no entanto estes serem independentemente ligados e desligados pelo operador. Assim, é possível programar a rega para as horas de maior disponibilidade hídrica, dispensando a presença do operador para desligar a fonte da água e o controlador, o que muitas vezes tem lugar durante a noite. Por outro lado, permite iniciar a rega na ausência do operador, desde que este deixe o sistema pronto para funcionamento.

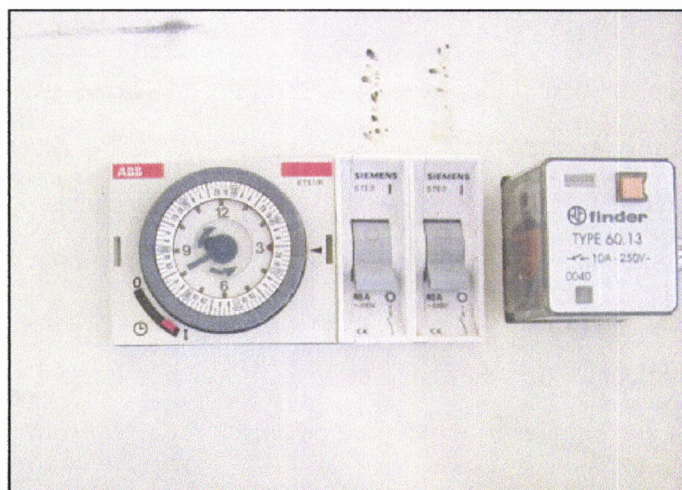


Figura 5.2 Pormenor do quadro do controlador CaboGest, mostrando o relógio temporizador semanal ABB ao lado dos disjuntores do quadro e da bomba.

Em vez de instalar um relógio temporizador, poder-se-ia ter utilizado o próprio computador do CaboGest, que possui um relógio interno, para ligar e desligar a fonte de água. No entanto, isto implicaria deixar o sistema ligado em permanência, o que diminui a vida útil do equipamento.

Com o sistema assim preparado, é possível prever a utilização de um sensor de humidade do solo, que inicia a rega automaticamente, quando o teor de água no solo desce abaixo de um valor preestabelecido.

5.1.2 Sistema de controlo do motor

O equipamento anteriormente desenvolvido por Shahidian (1996), denominado CaboGest, recorria a um variador de velocidades para regular a velocidade do êmbolo do cabo-rega. O autor, já nessa altura concluiu que *“Os sistemas electrónicos de cabo-rega desenvolvidos até à data, incluindo o do presente trabalho, têm procurado, de certa forma, reproduzir o movimento contínuo do êmbolo obtido com a roda hidráulica. ... de facto não existe nenhuma necessidade desse movimento contínuo a velocidades variáveis. O que de facto é preciso é que o êmbolo “abra” os orifícios do cabo-rega na altura determinada. Por outras palavras, é possível utilizar um sistema electrónico em que o êmbolo tenha uma única velocidade, passando rapidamente por um orifício, e parando no espaço entre dois orifícios aguardando a hora de “abrir” o orifício seguinte.”* A partir desta constatação modificou-se a opção do movimento do êmbolo,

que deixou de estar sempre em movimento com velocidades diferentes, para passar a ter períodos de andamento, intercalados com períodos de paragem. Assim, no momento predeterminado, o computador acciona o motor que movimenta rapidamente o êmbolo até este abrir o orifício seguinte (no tubo do cabo-rega) e pára poucos centímetros mais à frente. Deste modo, para além de se simplificar e embaratecer o mecanismo regulador, eliminando a necessidade de um variador de velocidades, consegue-se também aumentar a precisão do momento da abertura dos orifícios.

Em vez da utilização de um variador de velocidades MicroMaster, para comandar o motor, a comunicação do computador com o motor do cabo-rega passou a ser realizada através da porta paralela LPT1. Esta porta, ao emitir um sinal de 5V activa um relé Finder 40.52 que liga o motor. (Fig. 5.3 e Anexo 5.3). No programa, o comando “OUT &H378, 255” alimenta os pinos 2-9 da porta LPT1 com o sinal lógico 1 (high) e portanto estes fornecem continuamente a corrente necessária para accionar o relé. O comando “OUT &H378, 0” representa o sinal lógico 0 (low) e desliga o relé e portanto o motor.

5.2 Evolução do motor

Originalmente utilizou-se um motor trifásico de 120Watt acoplado a uma caixa redutora de 1500 vezes, comandado pelo já referido variador de velocidades. Este motor bastante robusto, responde bem, mesmo em situações exigentes, ao esforço de tracção existente sobre o cabo.

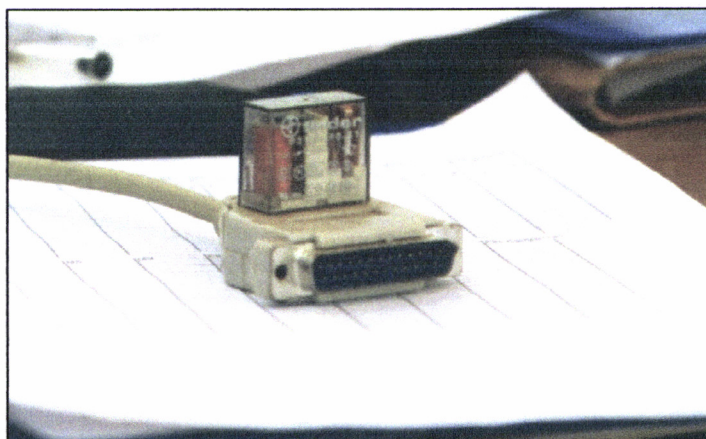


Figura 5.3 Relé 5V comandado pela porta paralela do computador, que acciona o motor do cabo-rega.

A preocupação com a redução dos custos do equipamento e a necessidade de evoluir no sentido de sistemas alimentados por energia solar conduziu à adopção de motores mais pequenos e de menor potência. No entanto, verificara-se que o momento dinâmico da água sobre o êmbolo e o seu peso exerciam uma tensão significativa sobre o cabo (Quadro 5.1), tornando-se necessário reduzir o esforço de torção do motor, antes de se poder utilizar motores menos potentes. Convém referir que no presente ensaio e dado o tubo de cabo-rega se estender por quase 200 m, com um declive de 2,2%, assistiu-se a uma considerável aceleração da água no tubo, havendo, de certa forma, um golpe de ariete sobre o êmbolo, verificando-se um aumento da tensão sobre o cabo aquando da rega da parte inferior do campo. Em geral, pode-se afirmar que a tensão sobre o cabo é directamente proporcional ao caudal, ao declive do tubo e ao seu comprimento e inversamente proporcional à abertura dos orifícios, pelo que se tornou necessário encontrar soluções para reduzir o torque sobre o motor.

5.2.1 Redução do diâmetro da bobine de enrolamento do cabo

A bobine normalmente utilizada para enrolar o cabo tem um diâmetro ajustável que pode variar entre 20 cm e 40 cm, o que se adapta à utilização com a roda hidráulica, pois o grande diâmetro da bobine cria momento necessário para a sua rotação. Contudo,

Quadro 5.1 Tensão sobre o cabo, em Newtons, e o torque sobre o eixo em N m, de acordo com o caudal, declive do tubo e abertura das janelas.

Diâmetro equivalente das janelas: 40 mm					
Caudal, l seg⁻¹	Declive do tubo, %				
	0,5	1	1,5	2	2,5
10	51	62	73	78	90
15	57	72	85	97	108
20	63	81	96	112	121

Diâmetro equivalente das janelas: 23 mm					
Caudal, l seg⁻¹	Declive do tubo, %				
	0,5	1	1,5	2	2,5
10	71	96	114	133	147
15	83	116	142	165	187
20	93	132	165	192	216

Simulações realizadas com o programa Cablemet, com espaçamento entre orifícios 0,75 m; diâmetro interno de 200 mm.

quando se pretende utilizar motores eléctricos de reduzidas dimensões, deve-se minimizar o diâmetro da bobine, reduzindo-se assim o momento de torção. Para este efeito foi construída uma nova bobine para enrolar o cabo, com o diâmetro interno reduzido ao mínimo (5,5 cm). Uma vantagem inesperada é que a nova bobine com eixo tubular permite enrolar o cabo com maior perfeição e rapidez (Fig. 5.4).

5.2.2 Redução do esforço sobre o motor

Em sistemas cabo-rega o motor efectivamente serve como um travão ao avanço do êmbolo, libertando apenas cabo suficiente para o deslocamento ordenado deste. De modo a diminuir o esforço sobre o motor e ultrapassar o problema da força do êmbolo “arrastar” o motor e desenrolar o cabo, instalou-se sobre o eixo deste uma braçadeira de aperto em teflon, com cerca de 5 cm de comprimento, munido de parafuso de ajuste da pressão (Fig. 5.5).

O aperto aplicado no parafuso deve ser tal que, com o sistema em carga, o êmbolo fique parado, sem necessitar do motor para servir de travão, eliminando-se assim o risco de “arrastamento” do motor e prolongando simultaneamente a sua vida útil.



Figura 5.4 A bobine convencional com o diâmetro máximo e mínimo e a nova bobine de diâmetro reduzido.

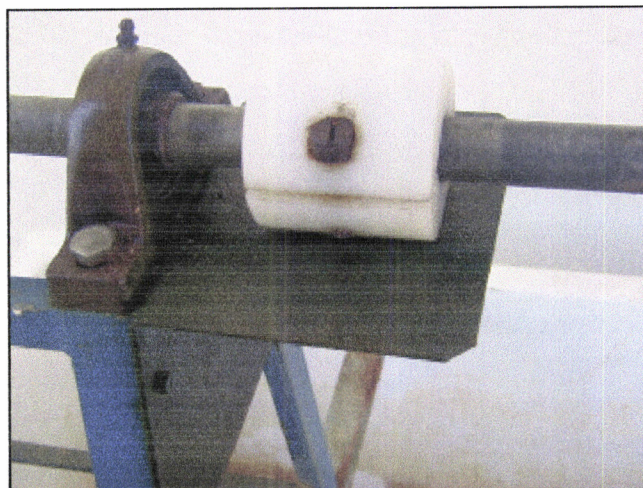


Figura 5.5 Braçadeira de aperto em Teflon.

5.2.3 O motor e a caixa de redução

Com as melhorias introduzidas no sistema, através da inclusão de um travão de aperto e a diminuição do diâmetro da bobine, foi possível instalar um motor e redutores de menores dimensões, Em 1998, foi seleccionado um motor 4GN25K de 25 W da Oriental Motors (Anexo 5.4), sem escoavas, de grande precisão, que não precisa de ventilação. Este foi acoplado a duas caixas redutoras 4GN10 e 4GN25, totalizando uma desmultiplicação de 250 vezes.

No entanto, em duas ocasiões durante 1999, a caixa de redução não resistiu aos esforços a que foi sujeita, tendo sido necessária a sua substituição. Assim, optou-se por um conjunto motor 5GN40K de 40 W, acoplado a uma caixa 5GN150, obtendo-se assim um sistema muito mais robusto. Em termos de poupança de energia relativamente ao sistema original, deixou-se de utilizar 120 W com o motor para passar a utilizar apenas 40W com esse novo motor.

5.3 Retorno da informação do campo

O controlador CaboGest precisa de detectar a chegada da água ao início do sulco controlo e a mais dois pontos, nomeadamente ao meio e fim do sulco, para poder calcular a equação de infiltração e determinar o coeficiente de rugosidade de Manning.

Já em 1996 o autor tinha previsto a instalação de detectores de avanço electrónicos que permitissem automatizar esse retorno de informação em tempo real. O sistema de detecção desenvolvido originalmente era constituído por relés de detecção de falta de água, RFA 101 SIM, utilizados normalmente em poços e furos artesianos, que podem ser conectados às portas COM 1- 4 do computador.

O relé é provido de duas sondas que o ligam e desligam na presença ou ausência de água. A chegada da frente de avanço da água ao meio do sulco activa o relé que transmite um sinal ao controlador. Um mecanismo de bóia localizado no fim do sulco desliga seguidamente a corrente. Deste modo é possível detectar a chegada da frente do avanço ao meio e fim do sulco com um único relé e um cabo de dois condutores.

No entanto, verifica-se que este sistema, embora funcional, implica a colocação de cabos ao longo do sulco controlo, e a sua remoção no fim da campanha, sendo pouco atractivo para os agricultores. Optou-se assim pelo desenvolvimento de um sistema via rádio, em que a detecção do avanço é comunicada ao controlador através de emissores instalados no sulco. Recorreu-se para o efeito a emissores comerciais de marca “Rainsensor”, utilizados normalmente para desligar a rega no caso de ocorrer precipitação atmosférica (Anexo 5.5). O emissor, munido de um sistema de bóias, detecta a frente de avanço e transmite um sinal via rádio para o receptor localizado no controlador do cabo-rega, que por sua vez comunica ao computador da rega (Fig. 5.6).

Com este sistema, o agricultor precisa apenas de colocar os dois mastros no início da campanha, e depois recolhe-los antes da colheita.



Figura 5.6 Esquerda: Detectores de avanço funcionando com relés RFA. Centro: Emissor e receptor do avanço R&D. Direita: Sensor de avanço sem fios.

5.4 Rebobinagem automática do cabo

5.4.1 Êmbolo auto-solta

Uma desvantagem normalmente apontada ao método de cabo-rega é o tempo necessário para preparar cada rega. De facto, é necessário tirar o êmbolo do tubo, enrolar o cabo e voltar a introduzir o êmbolo no topo do tubo, o que pode demorar 10-15 minutos. Com a introdução do temporizador, o êmbolo fica normalmente parado nos últimos metros do tubo depois da rega, sendo necessário fornecer água ao sistema durante breves instantes para empurrar o êmbolo para fora.

De modo a resolver esta questão foi colocado um tampão no fim do tubo do cabo-rega. Esta solução permite que o controlador desenrole completamente o cabo, sem receios do êmbolo sair indevidamente do fim do tubo. Por outro lado, tem a vantagem acrescida da pouca água excedente ficar retida no tubo, regando assim os últimos dois ou três sulcos.

A experimentação com o tampão conduziu a ideia de aproveitá-lo para soltar o êmbolo, ou seja, o tampão serviria de batente para o êmbolo, accionando um mecanismo que libertaria o cabo. Assim não só o êmbolo ficaria posicionado no fim do tubo, como também agora o controlador poderia rebobinar o cabo, deixando tudo pronto para a próxima rega.



Figura 5.7 Tampão colocado no fim do tubo de cabo-rega, e pormenor do êmbolo auto-solta, mostrando o batente que liberta o cabo.

Esta solução tornou-se realidade com a utilização de uma tomada de engate rápido, do tipo utilizado no hidráulico dos tractores. O novo êmbolo (Fig. 5.7, Anexo 5.6), denominado auto-solta possui um eixo interior que ao embater no tampão solta o cabo, permitindo que este seja rebobinado automaticamente, permanecendo o êmbolo no tampão do fim do tubo.

Com o sistema auto-solta torna-se possível introduzir um mecanismo automático de re-bobinagem do cabo, deixando o sistema pronto para a rega seguinte. Assim, quando o cabo é desenrolado até ao fim do tubo, o motor é accionado no sentido inverso e este enrola, novamente, o cabo, poupando tempo e esforço ao agricultor. A utilização do êmbolo auto-solta, juntamente com o mecanismo de enrolamento automático do cabo permite diminuir em cerca de 10 minutos o tempo despendido a preparar cada rega, e tornar o sistema mais atractivo para os agricultores.

5.5 Sistemas de protecção

Com o aumento da automatização da rega, naturalmente diminui a supervisão por parte do operador, pelo que o sistema deve tornar-se mais fiável e robusto, com capacidade para se proteger dos imprevistos de diversa natureza, que podem provocar avarias no equipamento.

As falhas mais comuns incluem eventuais erros no programa, ou problemas com os componentes electrónicos, em que o motor permanece ligado. Por outro lado variações bruscas de caudal podem arrastar o êmbolo, e cortes repetidos de energia podem confundir o controlador, fazendo com que este perca a localização do êmbolo. Nestes casos, o cabo é desenrolado totalmente e a bobine começa a enrolar ao contrário, puxando o êmbolo para dentro do tubo. Este acaba por prender algures no tubo e, se o sistema não for desligado atempadamente, acaba por provocar danos na caixa redutora.

Assim, o sistema foi dotado de um mecanismo simples de protecção que actua sempre que o êmbolo prende e a tensão no cabo atinge valores críticos (Fig. 5.8). O mecanismo utilizado baseia-se numa mola que exerce uma força perpendicular ao cabo, esticando-o. Quando a tensão no cabo aumenta, a mola é puxada, accionando um relé de fim de curso, que desliga o controlador do cabo-rega e o fornecimento de água. Um parafuso permite regular a posição do relé e portanto a tensão crítica.

5.6 Fiabilidade da abertura das válvulas corrediças

Um problema que reduzia a fiabilidade do sistema era o facto de esporadicamente durante a rega o êmbolo, na sua passagem, exercer grande pressão sobre as válvulas corrediças, provocando o seu arrastamento e abertura. Este problema é mais acentuado em sistemas onde existe uma pressão razoável no tubo, por este apresentar um declive superior a 1%, ou o caudal total ser grande. Por outro lado, com a diminuição da infiltrabilidade do solo ao longo da campanha, há necessidade de diminuir a abertura das janelas para reduzir os módulos parcelares, o que também provoca o aumento do regolfo no tubo

A solução adoptada foi a utilização de um parafuso com uma porca de orelhas que comprime as duas partes da válvula contra o tubo. Esta solução económica e rápida de executar, permite dar o aperto necessário a cada válvula e, também, alterar facilmente a sua abertura (Fig. 5.8). Uma outra solução plausível passava pela utilização de torneiras em vez de válvulas. No entanto, as torneiras apresentam problemas próprios, tal como o facto de saltarem quando a pressão no tubo aumenta, facto que levou a que esta solução não fosse utilizada.

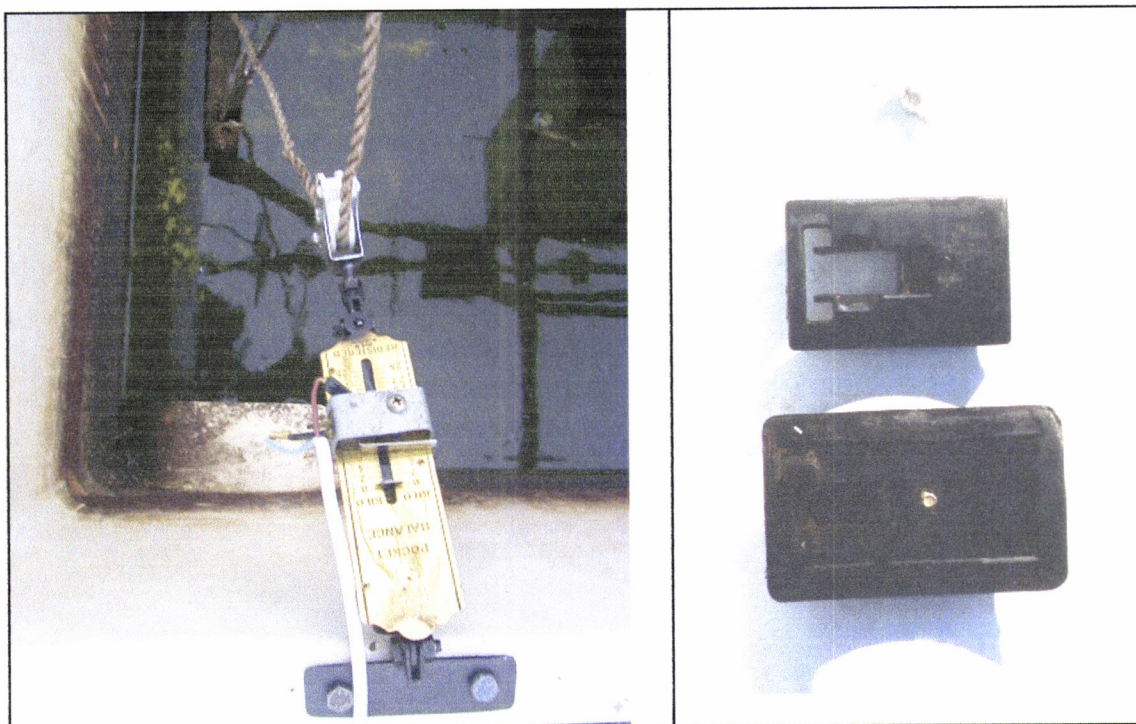


Figura 5.8 Esquerda: Mecanismo de protecção contra tensões elevadas sobre o cabo. Direita: Os componentes das válvulas corrediças e o parafuso de aperto.

5.7 Desenvolvimento de novos tipos de controladores

Embora todos os ensaios deste trabalho tivessem sido realizados com o sistema CaboGest funcionando a corrente alterna, conforme descrito anteriormente, foram simultaneamente desenvolvidos outros sistemas para funcionar em áreas desprovidas de energia eléctrica e em campos com sulcos de comprimento constante, onde o agricultor pode querer dispensar um sistema CaboGest, recorrendo a um sistema mais económico.

Os sistemas podem ser classificados em duas categorias: 1) sistemas de controlo simples, denominados CaboMatic, em que a velocidade de rega é introduzida pelo agricultor, e 2) sistemas inteligentes, tipo CaboGest, em que a determinação da velocidade do andamento do êmbolo e os demais controlos da rega são realizados automaticamente. Dentro de cada categoria podem existir sistemas funcionando a corrente alterna monofásica, e sistemas utilizando energia solar.

Efectivamente, em muitas situações, as dimensões reduzidas do campo, ou a sua forma rectangular tornam desnecessária a instalação de sistemas inteligentes tipo CaboGest. Nestes casos, o próprio agricultor regula o sistema com base na observação do avanço da rega e a sua experiência com regas anteriores. Por isso, foram desenvolvidos sistemas de controlo manual, CaboMatic, em que é o próprio utilizador que introduz a velocidade do deslocamento do êmbolo. Esta velocidade, V , em m min^{-1} , pode ser determinada utilizando as tabelas elaboradas por Sousa *et al.* (1992), ou multiplicando o caudal, Q , em $\text{m}^3 \text{min}^{-1}$ com a Eficiência de aplicação esperada, EA , e dividindo o resultado pelo produto da dotação, G , em m com o comprimento dos sulcos, L em m :

$$V = \frac{Q EA}{L G} \quad (5.1)$$

Para o valor da Eficiência de aplicação, EA , pode-se numa primeira aproximação utilizar valores de 0,75 ou 0,8.

Em seguida apresenta-se uma breve descrição dos vários tipos de controladores desenvolvidos, estando as suas características resumidas na Figura 5.11 no fim do capítulo.

5.7.1 Sistema com controlo manual, a 220V

O sistema mais simples é o de controlo manual funcionando a corrente 220 V alterna (Fig 5.9). Este sistema é constituído por um motor eléctrico trifásico de 120 W, acoplado a duas caixas redutoras do tipo sem fim, comandado por um variador de velocidades MM25 da SIEMENS (este variador, sendo alimentado a 220V, controla motores trifásicos de 380 V). O agricultor introduz a velocidade pretendida através do teclado na interface do sistema. Os valores introduzidos variam entre 0 e 50, correspondendo este último valor a velocidade máxima que se aproxima a cerca de 1,5 m por minuto.

5.7.2 Sistema com controlo manual, solar

O sistema com controlo manual, que utiliza energia solar, é constituído por um motor Oriental Motors modelo HBL425-GN trabalhando a 24V, acoplado a uma caixa redutora. O controlo da velocidade do êmbolo é realizado através de um potenciómetro instalado no quadro do sistema (Fig. 5.9 e Anexo 5.7). O sistema é alimentado através de duas baterias de 12 V e 12 A, que são carregadas durante o dia por dois painéis fotovoltaicos de 12 V e 2 A. Um regulador de voltagem impede o sobre-carregamento das baterias quando o sistema não é utilizado (esquema eléctrico das ligações apresentado em Anexo 5.8). Este sistema tem autonomia suficiente para realizar regas de 16 horas de dois em dois dias.



Figura 5.9 Esquerda: Sistema CaboMatic a 220V. Direita: Sistema CaboMatic solar.

5.7.3 Sistema CaboGest solar

O sistema de controlo inteligente CaboGest, trabalhando a energia solar, é baseado num programador CipherLab 520, de 12 V, que possui um processador Toshiba TL21, com 512K de memória (Anexo 5.9). Este aparelho possui um teclado numérico e seis teclas de funções, para além de um écran LCD retro-iluminado de 8x32 caracteres, que serve de interface com o utilizador (Fig. 5.10). Quatro luzes pré-programáveis podem também ser utilizados para comunicar rapidamente o estado de funcionamento do aparelho. Este programador possui um cartão de memória do tipo Flash-card, e é programável em linguagem BASIC, possuindo também funções avançadas de controlo de tempo e calendário. Os programas são inicialmente compilados num computador normal utilizando um programa específico (CipherLab Basic Compiler v.2.2) e depois carregados para o programador através da porta RS232. Tendo em atenção a capacidade reduzida de processamento desta unidade, o programa CaboGest teve de ser re-escrito e adaptado para este sistema, tendo-se recorrido a alguns algoritmos para simplificar e acelerar o seu funcionamento. Apesar disso, o funcionamento do sistema é muito semelhante ao do CaboGest de 220 V, utilizado durante os ensaios deste trabalho. O código fonte do programa é apresentado em suporte magnético.

A grande vantagem deste programador reside na sua capacidade de receber dados e de comandar outros aparelhos. Possui 4 entradas digitais foto-isoladas, através das quais os tempos de avanço são comunicados ao sistema (Anexo 5.10). Possui também 4 relés internos comandados através do programa, com os quais é possível comandar as diversas funções do cabo-rega, tais como o andamento do êmbolo e a rebobinagem do cabo. Após a modelação do avanço, e portanto durante todo o restante da rega, o sistema entra em modo de baixo consumo, poupando energia.

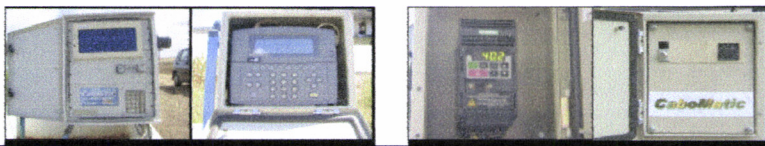
O motor seleccionado é um conjunto moto-reductor da Minimotor, modelo ACCE 12MP, com duas caixas redutoras, que trabalha a 12 V, utilizando 40 W, e cuja relação de redução na caixa é 293:1, resultando numa velocidade final de 10,7 rpm. Esta velocidade permite ao sistema deslocar o êmbolo entre dois sulcos consecutivos em apenas 19 segundos, pelo que o motor permanecerá desligado na maior parte do tempo, não representando por isso grande gasto de energia.

A alimentação é através de uma bateria de 12 V e 12 A, que é recarregada no campo por um painel solar de 2 A, através de um regulador de voltagem. Duas luzes no interior da caixa indicam o estado de carga da bateria e o funcionamento do painel solar. Este encontra-se montado horizontalmente por cima do motor, protegendo-o assim de temperaturas elevadas e da chuva (Anexo 5.11). O programador CipherLab, o regulador de voltagem e os receptores do avanço estão montados numa caixa que pode ser hermeticamente fechada. Embora o programador tenha um custo relativamente elevado, trabalha a 12 V, pelo que basta uma única bateria e painel solar, havendo alguma poupança neste material.



Figura 5.10 Sistema CaboGest solar baseado num programador Cipherlab 520, a funcionar na Estação Experimental da Comenda, Elvas.

Características	CaboGest		CaboMatic	
	Eléctrico	Solar	Eléctrico	Solar



Alimentação	220V- AC	Energia Solar	220V-AC	Energia Solar
Determinação tempo da rega	Automático	Automático	Manual	Manual
Adaptado a campos irregulares	sim	sim	não	não
Recomendação de dotação	Sim	Sim	-	-
Armazenamento dos dados da rega	Sim	Sim	não	não
Movimento do êmbolo	intermitente	intermitente	contínuo	contínuo
Controlador	Painel-Pc	CipherLab 520	MicroMaster	Potenciômetro
Motor	tipo	220V-25W	12V-48W	380V-120W
	modelo	OM 4GNK	Mini-motor	T63 A4
Redução	250 x	293 x	1500 x	250 x
Redutores	tipo	Planetários	Planetários	Sem -fim
	modelo	GN10 e4GN25	Mini-motor	NRV-030
Painéis solares	-	1	-	2
Baterias	-	1 12V, 12A	-	2 12V, 12A
Consumo de energia total	120 W	45W	145W	25W
Relógio início-fim rega	Sim	Sim	não	não
Determinação mecânica fim rega	opção	opção	Sim	Sim
Sensores de avanço	tipo	Via rádio	Via rádio	-
	modelo	Rainsensor	Rainsensor	-
Êmbolo auto-solta	opção	opção	opção	opção
Sensores de sobre-carga	opção	opção	não	opção
Rebobinamento automático	opção	opção	opção	opção
Braçadeiras de aperto	Declive > 1%	Declive > 1%	não	Declive > 1%

Figura 4.11 Características dos diferentes tipos de controladores de cabo-rega.

Capítulo VI

Resultados e discussão



6 Resultados e discussão

Para o desenvolvimento do sistema CaboGest e a validação do modelo, estes foram durante três anos experimentados na parcela de blocos de contorno, com cerca de 3,5 ha no Campo Experimental do Divor. Os parâmetros da topografia do terreno e configuração do sistema introduzidos no controlador no início de cada ano estão apresentados nos Anexos 3.3 e 6.1. Foram realizadas um total de 82 regas, 43 das quais controladas. No período de maior necessidade hídrica, eram realizadas até 4 regas semanais, o que só foi possível graças ao nível de automação alcançado. As dotações aplicadas eram as recomendadas pelo sistema, excepto algumas regas, em que a dotação foi superior para efeitos do ensaio. No Quadro 6.1 está apresentado um resumo das 43 regas nas quais foram realizadas medições para o presente trabalho. Neste Quadro é possível observar o diâmetro equivalente da aberturas das janelas, $\varnothing$ (ou seja o diâmetro de um orifício circular com secção equivalente ao da janela), os caudais debitados no sulco controlo, Q_c , os tempos de avanço até as duas posições ao meio e fim do sulco controlo, t_m e t_f , os parâmetros a e k da equação de infiltração, a rugosidade, n , e a dotação recomendada pelo sistema, G , para cada rega. Os tempos de avanço observados e os caudais medidos nas regas estudadas estão apresentados no Anexo 6.2 e 6.3.

Neste capítulo será feita em primeiro lugar uma avaliação do desempenho do sistema desenvolvido em termos do seu funcionamento, bem como da qualidade das regas realizadas. É apresentado um estudo sobre o processo de infiltração nestes solos e alguns aspectos relacionados com a equação de infiltração de Kostiakov, e com o método de dois pontos de Elliot e Walker, e outro sobre a evolução dos perfis transversais dos sulcos. Em seguida serão discutidos alguns ensaios realizados com o intuito de avaliar possíveis melhorias ao método utilizado. Para finalizar é apresentado um breve estudo económico do sistema proposto, procurando objectivamente equacionar as vantagens e inconvenientes deste método relativamente aos sistemas alternativos existentes.

Quadro 6.1 Quadro resumo das regas controladas e os parâmetros a e k das equações de infiltração, rugosidade, n , diâmetro equivalente, $\varnothing$, os caudais aplicados no sulco controle, Q_c , tempos de avanço até ao meio e fim do sulco controle, t_m e t_f , e a dotação recomendada, G .

Rega	Data	$\varnothing$, mm	Q_c , l s ⁻¹	t_m , min	t_f , min	k l min ^{-a} m ⁻¹	a	n	G , mm	comentário
1997										
1	8 Julho	51	2,52	22	66	3,68	0,598	0,055	23	
2	18 Julho	43	2,16	18	48	2,51	0,541	0,047	10	
3	24 Julho	35	1,74	22	59	2,21	0,532	0,045	4	
4	28 Julho	32	1,74	24	66	2,09	0,537	0,050		
5	31 Julho	32	1,74	22	57	1,97	0,507	0,045	12	
7	6 Agosto	23	0,80	37,5	105	2,08	0,499	0,055	10	
8	7 Agosto	23	0,80	20	50	0,60	0,629	0,033	1	
9	11 Agosto	23	0,80	32	79	3,25	0,344		10	
10	13 Agosto	23	0,80	23	61	0,92	0,592	0,040	8	
12	18 Agosto	23	0,80	29	70	2,85	0,336	0,047	8	
13	20 Agosto	23	0,80	24	62	1,12	0,539	0,040	4	
15	3 Setem.	23	0,80	35	95	2,77	0,435	0,060	10	
16	5 Setem.	23	0,80	31	75	3,30	0,322	0,050	4	
17	9 Setem.	23	0,80	29	75	2,14	0,436	0,050	10	
1998										
1	22 Julho	36	1,81	23	53	10,79	0,095	0,055	10	
3	28 Julho	23	0,80	32	79	5,85	0,197	0,060	10	
5	4 Agosto	23	0,80	23	58	3,84	0,243	0,045		
7	12 Agosto	23	0,80	23	58	2,62	0,289	0,045	7	
9	18 Agosto	23	0,80	15	36	0,90	0,296	0,028	5	
11	25 Agosto	23	0,80	25	63	3,03	0,287		5	
1999										
1	22 Junho	43	1,60	36,5	78,5	8,93	0,293	0,065	24	
2	27 Junho	23	0,65	40	87	3,50	0,325	0,060	8	
3	2 Julho	23	0,65	36	77	3,13	0,318	0,055	7	
4	5 Julho	23	0,65	34	70	1,97	0,354	0,055	8	Ensaio abertura
5	6 Julho	23	0,65	28	59	1,97	0,354	0,050	8	
6	9 Julho	23	0,65	32	65	3,26	0,249	0,050	9	
7	10 Julho	23	0,65	32	65	3,26	0,249	0,050	9	
8	12 Julho	23	0,65	29	60	2,37	0,307	0,048	8	Ensaio abertura
9	14 Julho	23	0,65	28	57	2,38	0,284	0,045	11	Dotação acima reco.
11	19 Julho	23	0,65	33	68	3,20	0,272	0,052	11	
12	21 Julho	23	0,65	31	63	3,04	0,257	0,052	11	
14	23 Julho	23	0,65	31	63	3,04	0,257	0,050	10	
16	28 Julho	23	0,65	29	58	2,89	0,235	0,045	10	
17	30 Julho	23	0,65	26	54	1,75	0,350	0,045	7	Dotação acima reco.
19	2 Agosto	23	0,65	24	48	1,76	0,288	0,040	7	
20	3 Agosto	23	0,65	29	50	2,61	0,273	0,048	10	
21	5 Agosto	18	0,47	34	68	2,37	0,225	0,050	7	Ensaio Diâmetro, $\varnothing$
22	11 Agosto	15	0,38	58	112	5,59	0,109	0,060	7	Ensaio Diâmetro, $\varnothing$
23	13 Agosto	15	0,38	39	74	2,11	0,220	0,060	7	Ensaio Diâmetro, $\varnothing$
25	16 Agosto	23	0,65	29	59	2,57	0,273	0,045	10	
26	18 Agosto	23	0,65	27	54	2,22	0,256	0,045	9,4	Dotação acima reco.
27	20 Agosto	23	0,65	27	54	2,22	0,256	0,045	4,4	Ens. Simul. inversa
28	21 Agosto	23	0,65	27	54	2,22	0,256	0,045	4,4	
29	23 Agosto	23	0,65	27	54	2,22	0,256	0,045	4,4	

6.1 Avaliação do desempenho do sistema CaboGest

6.1.1 Funcionamento geral do sistema

A estrutura do enrolamento do cabo e a caixa do cabo-rega em fibra utilizados são do tipo disponível comercialmente em Portugal, e demonstraram ser robustas e práticas, desempenhando plenamente as suas funções. O êmbolo, constituído por dois pratos em borracha é um óptimo vedante, aumentando a sua eficácia com a pressão no tubo, tendo-se verificado que os caudais que escapavam à volta do êmbolo e escorriam no interior do tubo eram mínimos, situando-se sempre abaixo de $0,1 \text{ l s}^{-1}$, ou seja menos de 1% do caudal de entrada. As válvulas corredeiras, uma vez resolvida a questão do seu deslizamento com a passagem do êmbolo, não apresentaram problemas, pelo que pode-se considerar que todo este conjunto de equipamento comercialmente disponível está maduro em termos do seu desenvolvimento.

O equipamento desenvolvido neste trabalho é constituído por componentes electrónicos (controlador, emissor e receptor do avanço) e electro-mecânicos (motor e sistema de transmissão, travão, êmbolo auto-solta, etc.). Os componentes electrónicos suportaram sem problemas as altas temperaturas e demais condições do campo, não apresentando problemas no seu funcionamento. Em duas ocasiões consecutivas em 1999, aquando da experimentação com um novo componente electrónico, o sistema ficou descontrolado durante a noite e desenrolou o cabo até ao fim, puxando depois o êmbolo para dentro do tubo. Por esta razão, foi desenvolvido um interruptor de segurança e o motor e a caixa foram substituídos por um conjunto mais robusto de 40 W. As peças moveis são sempre uma fonte de possíveis problemas, e as bóias dos sensores de avanço sem fio desenvolvidos no presente trabalho não fogem à regra. Este sistema deverá ser melhorado, eliminado-se as peças moveis, podendo-se evoluir para mecanismos de detecção por ultra-sons ou através de sondas eléctricas.

O programa CaboGest determinou, em tempo real, as equações de infiltração bem como o coeficiente de rugosidade de Manning, tendo utilizado esta informação para gerir as regas de acordo com as dotações calculadas. Em cada ano, a primeira rega normalmente demorava 30-40 horas, enquanto na segunda rega este tempo era reduzido para cerca de 25 horas, e no resto da campanha 10-20 horas. As regas eram realizadas de

maneira contínua, prolongando-se durante a noite até ao dia seguinte, sem supervisão. Por esta razão, a grande maioria das observações foram realizadas nos primeiros 3-4 blocos que eram regados ainda durante o dia. Verificou-se que, pelo facto do campo de ensaios se encontrar localizado no troço final do canal, o caudal disponível estava sujeito a flutuações inadvertidas, com efeitos negativos sobre a qualidade da rega.

6.1.2 Uniformidade dos caudais debitados pelas janelas

Mesmo quando o tubo do cabo-rega é colocado com alguma perfeição no início da campanha, há uma tendência para assentamento nos locais de aterro, o que pode até ser detectado por inspecção visual. Por outro lado, a abertura dos orifícios no tubo é realizada manualmente, recorrendo a uma serra, apresentando estes muitas vezes imperfeições na forma e na dimensão. Estes factores associados à regularidade da abertura das janelas e a sua correcta orientação condicionam em grande medida a uniformidade dos caudais debitados, afectando a qualidade das regas realizadas.

A Figura 6.1 apresenta os vários caudais decrescentes debitados pelas janelas dos sulcos M1-M15 em 1998, podendo-se observar através das linhas o mesmo caudal debitado por diferentes janelas. Verifica-se que algumas janelas, como por exemplo M3 e M14, debitam caudais bastante diferentes das outras, o que provavelmente se deve à conjugação dos factores anteriormente referidos. Observa-se um desvio padrão de $0,054 \text{ l s}^{-1}$ entre os caudais das diferentes janelas (Anexo 6.4), o que naturalmente terá repercussões na qualidade das regas realizadas.

Constata-se que a distribuição dos caudais debitados pelos orifícios é alterada à medida que estes se afastam da cabeceira do tubo. Embora o volume total aplicado pelos vários orifícios seja semelhante, assiste-se ao alargamento da gama de caudais e portanto maior diferenciação entre os caudais na parte final do tubo, o que se deve provavelmente ao aumento da pressão nessa zona devido ao grande declive do tubo (2%) e a aceleração da água ao longo dos seus 180 m de comprimento.

O programa CaboGest determina com alguma precisão os caudais debitados pelos orifícios do tubo. As alterações introduzidas no programa melhoraram a previsão desses caudais através do balanço volumétrico dos hidrogramas de entrada e saída no tubo do cabo-rega.

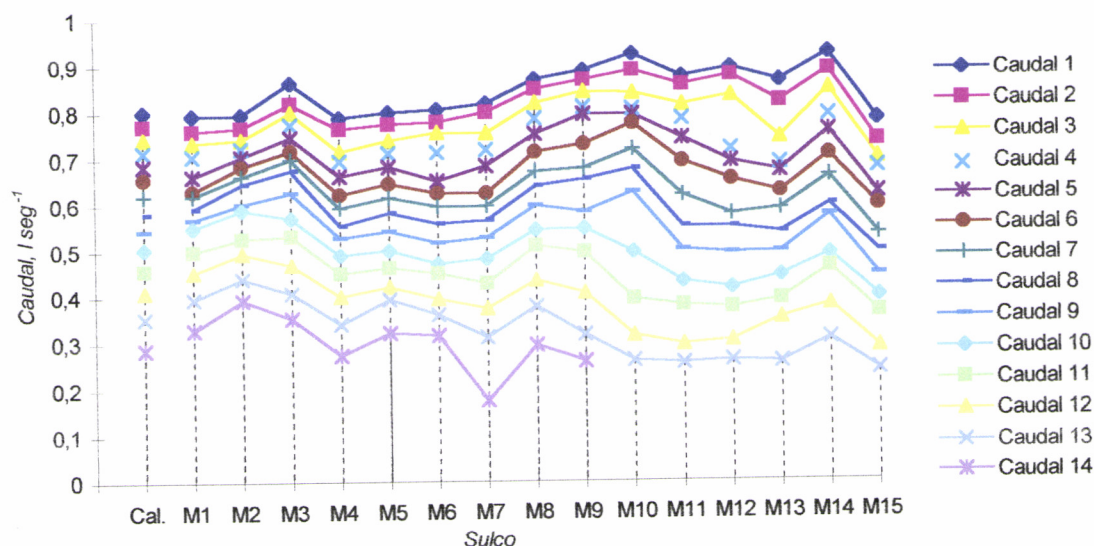


Figura 6.1 Os caudais calculados e os efetivamente debitados pelos orifícios do cabo-rega, durante a rega 11, em 1998.

6.1.3 Avaliação das simulações realizadas pelo CaboGest

A qualidade das regas realizadas com este sistema depende também da sua capacidade de prever com precisão os tempos de avanço nos diversos sulcos do campo de comprimento variável, regados com caudais continuamente decrescentes. O facto da equação de infiltração e a rugosidade serem determinadas no decorrer da rega são certamente uma mais valia importante para o rigor desta previsão.

Num campo constituído por centenas de sulcos e onde as diversas operações culturais são realizadas de acordo com as práticas agrícolas correntes, existem inevitavelmente diferenças entre os tempos de avanço de sulcos adjacentes do mesmo comprimento, o que se deve a pequenas irregularidades nos perfis dos sulcos e à diferenças no caudal aplicado. Assim, a simulação será, na melhor das hipóteses, um valor médio representativo do avanço nestes sulcos.

A Figura 6.2 representa avanços observados em sulcos com comprimentos semelhantes e a respectiva simulação pelo CaboGest em várias regas de anos diferentes. Observa-se que os tempos simulados estão dentro do intervalo dos tempos observados nos vários sulcos com o mesmo comprimento, tendo o programa conseguido simular satisfatoriamente os avanços nos sulcos de diferentes comprimentos (Anexo 6.5).

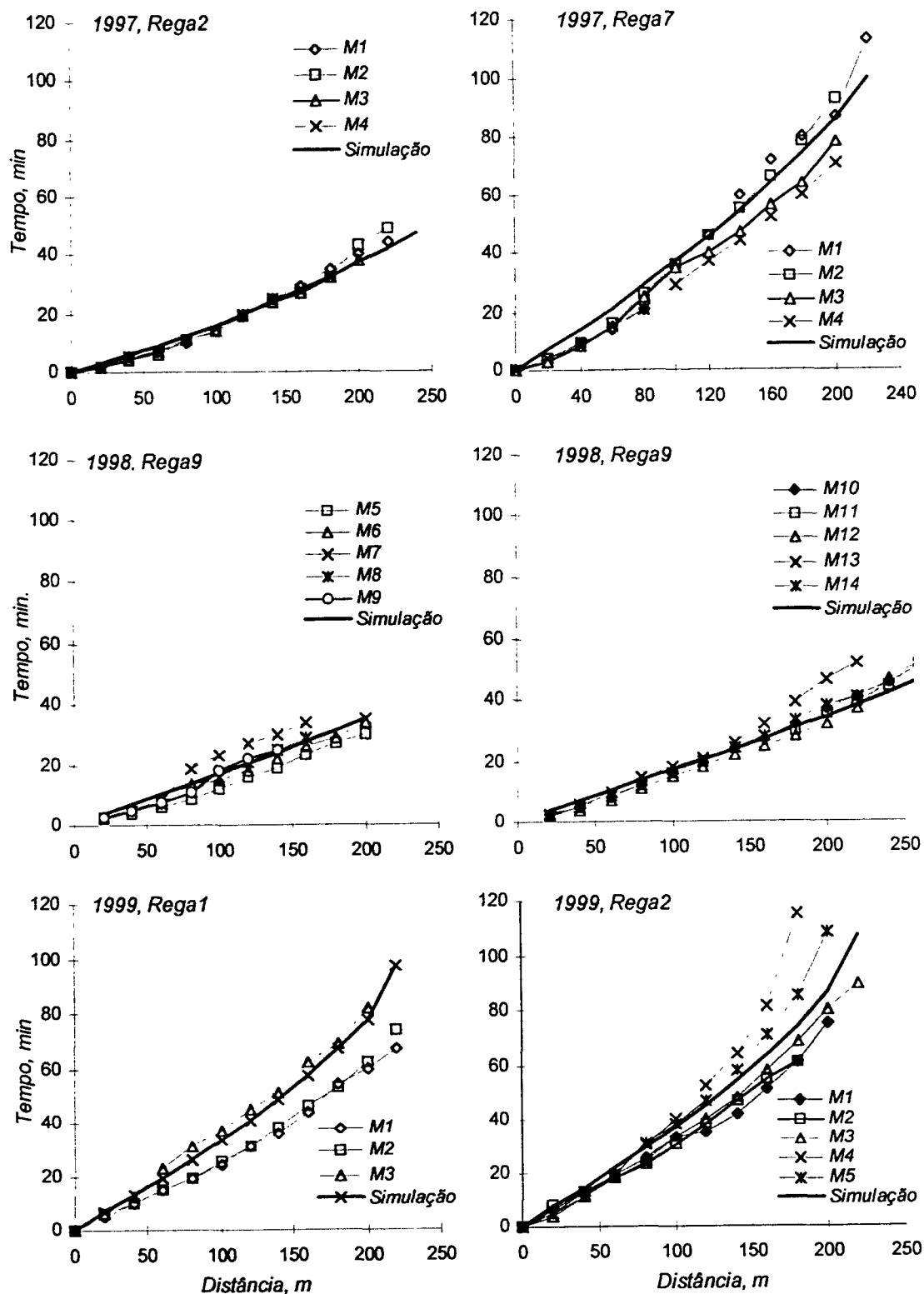


Figura 6.2 Avanços em sulcos com comprimentos semelhantes e a respectiva simulação pelo CaboGest.

Utilizando os tempos observados em 849 avanços individuais durante 8 regas de 1999 (blocos 1-4) é possível quantificar a precisão das simulações realizadas pelo CaboGest. Para o efeito foram calculadas as médias das diferenças entre os tempos de avanço observados e simulados em cada sulco, $\Delta \bar{t}$. Verifica-se através do Quadro 6.2 que excepto a primeira e a última rega, as médias são positivas, ou seja, os tempos realmente observados são superiores aos simulados.

A diferença maior observa-se na rega 23, realizada com módulos parcelares muito reduzidos, onde os tempos observados são em média 6,8 minutos maiores do que os simulados. Nesta rega, os caudais pequenos aplicados terão dilatado os tempos de avanço para além dos cálculos do modelo. Efectivamente, quando o caudal é reduzido, pequenas irregularidades podem atrasar consideravelmente a frente do avanço, afectando o tempo do avanço. A diferença média de todas as regas é de 2,0 minutos, o que equivale a um erro de cerca de 3%.

O desvio padrão, δ , é maior nas primeiras regas, diminuindo até ao valor de 8,0 na rega 9, voltando depois a subir. Aparentemente, a variabilidade maior dos avanços nas primeiras regas deve-se à rugosidade, diminuindo depois com o alisamento da superfície dos sulcos. Duma forma geral, e dada a simplicidade do algoritmo do cálculo, pode-se considerar que as simulações do avanço são aceitáveis, e satisfazem plenamente as necessidades da rega no campo.

Quadro 6.2 Média e desvio padrão das diferenças entre os tempos de avanço observados e simulados pelo CaboGest (tempo em minutos).

Rega	Diam. equiv., mm	n	Sulcos medidos	Média (das diferenças), min					Desvio padrão, min
				Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Campo	
3	23	0,055	90	5,5	0,6	-11,7		-2,9	15,1
4	23	0,055	86	4,5	7,2	-4,3		2,0	12,7
8	23	0,048	97	3,8	6,1	0,9		3,7	10,7
9	23	0,045	56	2,9	3,0			3,0	8,0
21	18	0,050	135	1,1	-1,8	2,8	3,5	1,4	8,3
23	15	0,060	135	12,8	7,8	2,5	6,8	6,8	9,7
26	23	0,045	115	3,0	2,0	0,2	4,8	2,0	8,8
29	23	0,045	135	1,7	-6,6	-7,4	11,6	-0,4	12,5
média				4,4	2,3	-2,4	6,7	2,0	10,7

6.1.4 Avaliação da qualidade das regas

6.1.4.1 A uniformidade

Num sulco perfeitamente regular, a infiltração ao longo do seu comprimento conduz à diminuição progressiva do escoamento e da superfície infiltrante, contribuindo para a redução da uniformidade de infiltração.

A Figura 6.3 apresenta a evolução das profundidades de escoamento ao longo do sulco M5 em duas regas realizadas em 1998. A sua evolução ao longo do tempo é característica de sistemas cabo-rega. Quando a frente de avanço alcança um ponto, o caudal aumenta rapidamente nos 10-15 minutos seguintes, alcançando um máximo, no entanto, devido à redução contínua dos módulos parcelares, o caudal na secção em causa diminui gradualmente acompanhando essa redução.

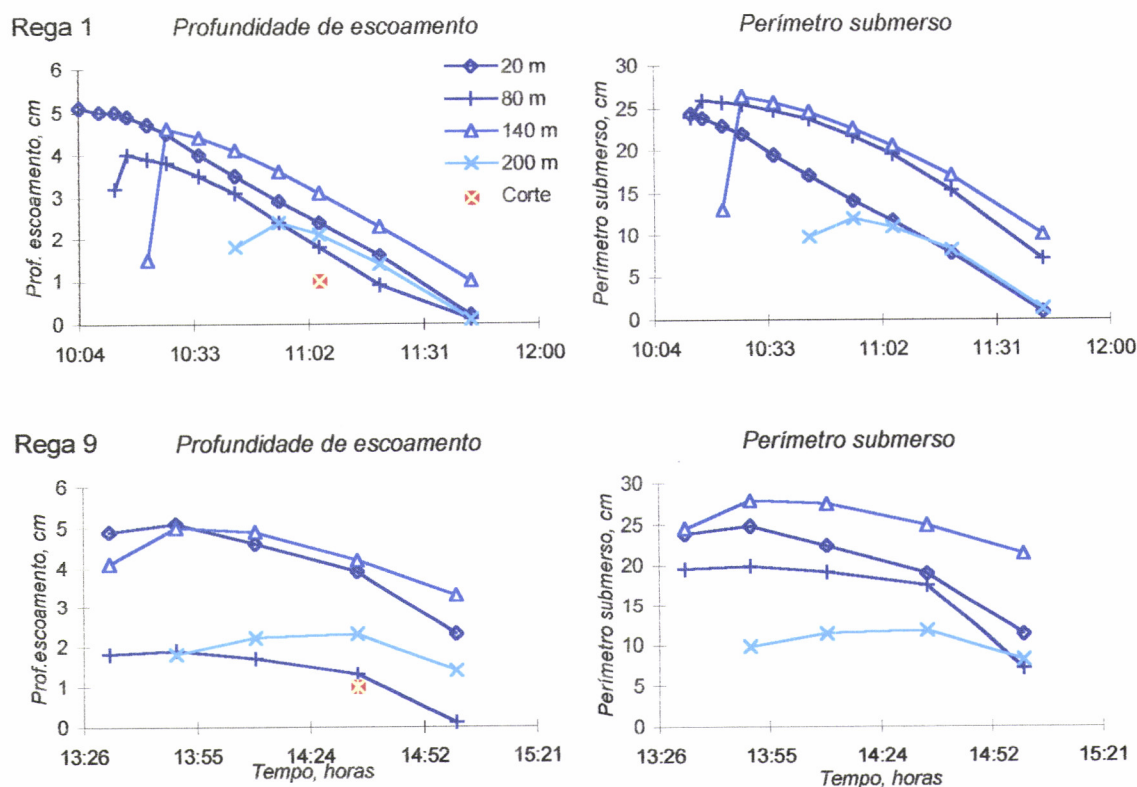


Figura 6.3 Profundidade de escoamento e o perímetro submerso¹ em quatro pontos (20 m, 80 m, 140 m e 200 m) ao longo do sulco M5, 1998.

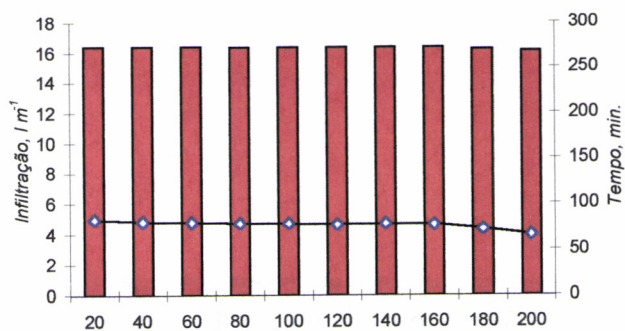
¹ Devido ao fenómeno da capilaridade pode se considerar que o perímetro submerso é diferente do perímetro molhado.

Recorrendo às equações dos perfis deste sulco, é possível transformar as profundidades de escoamento em perímetro submerso (Anexo 6.6). Verifica-se assim que, no caso em estudo, existe uma sequência normal entre o perímetro submerso aos 20, 80 e 200 m. A secção aos 140 m apresenta valores elevados, provavelmente devido a irregularidades no declive do sulco que provocam a redução da velocidade de escoamento.

Verifica-se que a redução da superfície submersa ao longo do sulco é menos significativa do que a diminuição do caudal. Por exemplo, na rega 1, o caudal médio que atravessa a secção aos 200 m é apenas 33% daquele que atravessa a secção aos 20 m, no entanto, o perímetro submerso é 52% do perímetro submerso aos 20 m.

Os tempos de infiltração em cada ponto ao longo do sulco são determinados pelo avanço e pela recessão (Fig 6.4). Como a frente do avanço demora algum tempo a percorrer o sulco, naturalmente as partes mais a jusante terão um tempo de infiltração menor, sendo no entanto parte desta diferença compensada pela recessão que também corre o sulco de montante a jusante. Devido ao declive reduzido dos sulcos (0,2%) e a sua baixa infiltrabilidade final, observa-se que a fase de recessão é de montante para jusante demorando cerca de 30-60 minutos para se completar.

Rega 1 $Z = 10,79$ $*t^{\wedge} 0,095$				
<i>I, m</i>	<i>Avanço</i>	<i>Rec.</i>	<i>T.inf, min</i>	<i>Z, mm</i>
20	9:57	11:20	83	16,45
40	10:01	11:22	81	16,41
60	10:05	11:25	80	16,39
80	10:08	11:27	79	16,37
100	10:13	11:32	79	16,37
120	10:17	11:35	78	16,35
140	10:21	11:40	79	16,37
160	10:25	11:43	78	16,35
180	10:30	11:43	73	16,25
200	10:36	11:43	67	16,12
<i>Diferença, %</i>			19,28	2,02



Rega 9 $Z = 0,9$ $*t^{\wedge} 0,296$				
<i>I, m</i>	<i>Avanço</i>	<i>Rec.</i>	<i>T.inf, min</i>	<i>Z, mm</i>
20	13:10	18:00	290	4,82
40	13:12	18:00	288	4,81
60	13:14	18:10	296	4,85
80	13:17	18:10	293	4,84
100	13:20	18:15	295	4,85
120	13:24	18:15	291	4,83
140	13:27	18:20	293	4,84
160	13:31	18:20	289	4,82
180	13:35	18:25	290	4,82
200	13:38	18:35	297	4,85

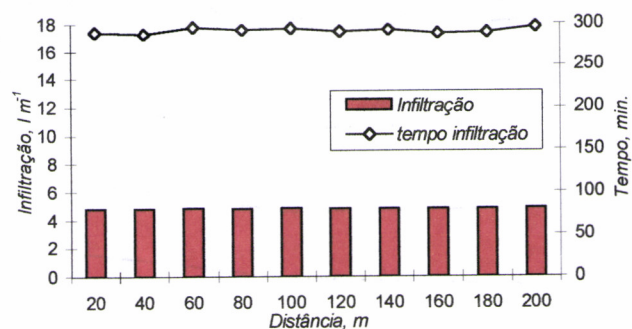


Figura 6.4 O efeito dos tempos de avanço e recessão sobre a infiltração no sulco M5, 1998.

Como a taxa de infiltração diminui rapidamente com o tempo e no presente solo atinge valores reduzidos, as grandes diferenças nos tempos de infiltração acabam por representar pequenas diferenças em termos de volume infiltrado. Por exemplo na rega 1, verifica-se que entre o início e o fim do sulco existe uma diferença no tempo de infiltração de 16 minutos ou seja 19% do tempo de infiltração na cabeceira, enquanto a correspondente diferença na infiltração é de 0,33 mm, ou seja apenas 2%.

Face ao exposto, conclui-se que a dotação infiltrada em cada ponto será o resultado da conjugação do factor tempo de infiltração com a superfície infiltrante, assistindo-se inevitavelmente a uma redução gradual de infiltração ao longo do sulco (Fig.6.5). A uniformidade da infiltração procura traduzir essa diminuição gradual da infiltração ao longo do sulco, para além das diferenças de infiltração causadas pelas irregularidades do terreno.

Recorrendo aos dois indicadores mais comuns da uniformidade, nomeadamente a **UD** e **Cu** de Christiansen, verifica-se que em 1998 a **UD** se situa entre 0,87 na primeira rega e 0,78 na rega 11, enquanto que **Cu** de Christiansen se situa entre 0,94 na primeira rega e 0,83 na rega 11, assistindo-se assim a uma diminuição nítida da uniformidade ao longo da campanha (Quadro 6.3). Utilizando o Coeficiente de Variação, **CV**, indicador recentemente proposto pelo grupo de trabalho da ASCE (Burt *et al.*, 1997), verifica-se que o seu valor aumenta ao longo de 1998, passando de 0,08 na primeira rega, para 0,20 na rega 11, pelo que também indica a redução da uniformidade com a continuação das regas.

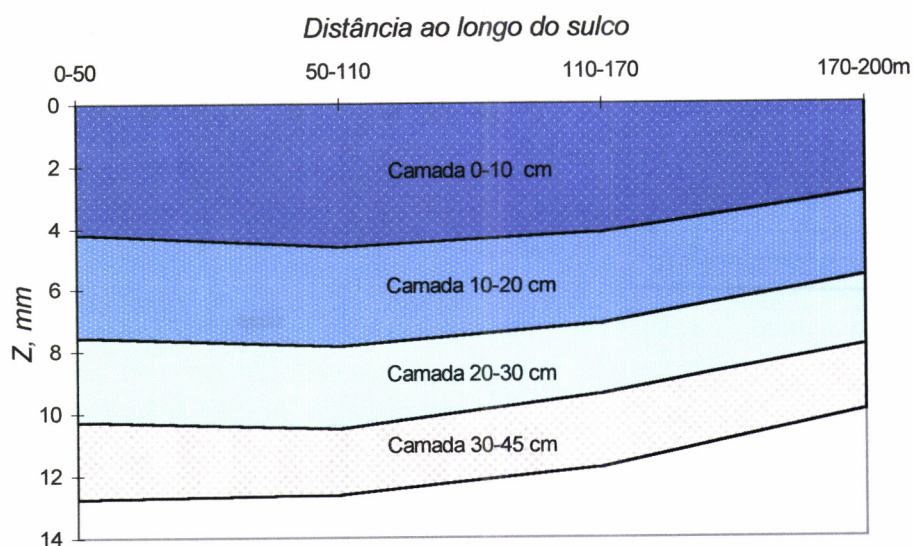


Figura 6.5 Dotação infiltrada ao longo do perfil (0-45 cm de profundidade) do sulco M5. Média de 6 regas, 1999 (regas individuais apresentados em anexo 6.7).

Em 1999, e também no sulco M5, a *UD* varia entre os 72% na segunda rega e os 87%, enquanto que o *Cu* de Christiansen varia entre os 84% também na segunda rega e os 90%. O *CV* varia entre 0,13 e 0,22, assistindo-se a uma certa heterogeneidade nos valores determinados, pelo que não se encontra nenhum padrão nítido de evolução da uniformidade em 1999.

Os valores de uniformidade determinados nestes dois anos são aceitáveis para o tipo do solo e as condições do ensaio. Verifica-se também que, apesar dos diferentes indicadores não apresentarem valores exactamente iguais, são consistentes e úteis para a comparação de uniformidades de diferentes regas.

6.1.4.2 Os excedentes

Excepto o caso de sulcos bloqueados, os excedentes são inevitáveis, permitindo infiltrar a dotação pretendida no troço final do sulco. Numa situação ideal os caudais excedentes são pequenos e prolongam-se no tempo, permitindo a infiltração desejada com perdas reduzidas de água. O sistema cabo-rega é aquele que mais se aproxima desse ideal, permitindo realizar o avanço com um caudal elevado que vai diminuindo gradualmente. Quando o avanço se completa, os módulos parcelares estão reduzidos, pelo que o caudal excedente será também proporcionalmente pequeno.

Quadro 6.3 As uniformidades de aplicação em 1998 e 1999 expressas através da Uniformidade de Distribuição, *UD*, Coeficiente de uniformidade de Christiansen, *Cu*, e Coeficiente de Variação, *CV*.

1998	Rega				média
	1	5	9	11	
<i>UD</i>	0,88	0,87	0,82	0,78	0,84
<i>Cu</i>	0,94	0,89	0,89	0,83	0,89
<i>CV</i>	0,08	0,14	0,15	0,20	0,14

1999	Rega						média
	2	3	9	17	21	22	
<i>UD</i>	0,72	0,81	0,87	0,84	0,74	0,74	0,79
<i>Cu</i>	0,84	0,90	0,84	0,90	0,85	0,87	0,87
<i>CV</i>	0,21	0,13	0,22	0,13	0,20	0,18	0,18

Através dos hidrogramas do sulco M5 é possível tipificar os módulos parcelares e os excedentes gradualmente decrescentes característicos dos sistemas cabo-rega (Fig. 6.6). Verifica-se que, apesar dos caudais elevados aplicados na primeira rega (entre 1,6 e 0,7 l s⁻¹), o volume de excedentes é relativamente pequeno, aumentando gradualmente nas regas seguintes. Na rega 9 o CaboGest reduz os tempos de aplicação dos 160 minutos da rega anterior para 86 minutos, procurando adaptar o volume aplicado à infiltrabilidade do solo, conseguindo assim controlar o volume total de excedentes, mas não o pico do caudal excedente, que se mantém próximo dos 0,4 l s⁻¹.

Devido a organização do campo em blocos de contorno, cada bloco começa com sulcos longos, diminuindo progressivamente o seu comprimento até ao fim do bloco. Verifica-se que esta organização conjugada com o sistema cabo-rega, faz com que os avanços de um grande número de sulcos em cada bloco se completam simultaneamente, resultando em “ondas” de excedentes (Fig. 6.7). Assim, quando o êmbolo passa para um novo bloco, começam a diminuir os excedentes do bloco anterior, demorando entretanto algum tempo para que se completem os avanços nos sulcos do novo bloco, pelo que se atinge um caudal excedente total mínimo. Passado pouco tempo, completam-se os avanços dos sulcos deste bloco e o excedente total atinge um novo máximo, pelo que o caudal total do campo flutua entre o mínimo e máximo.

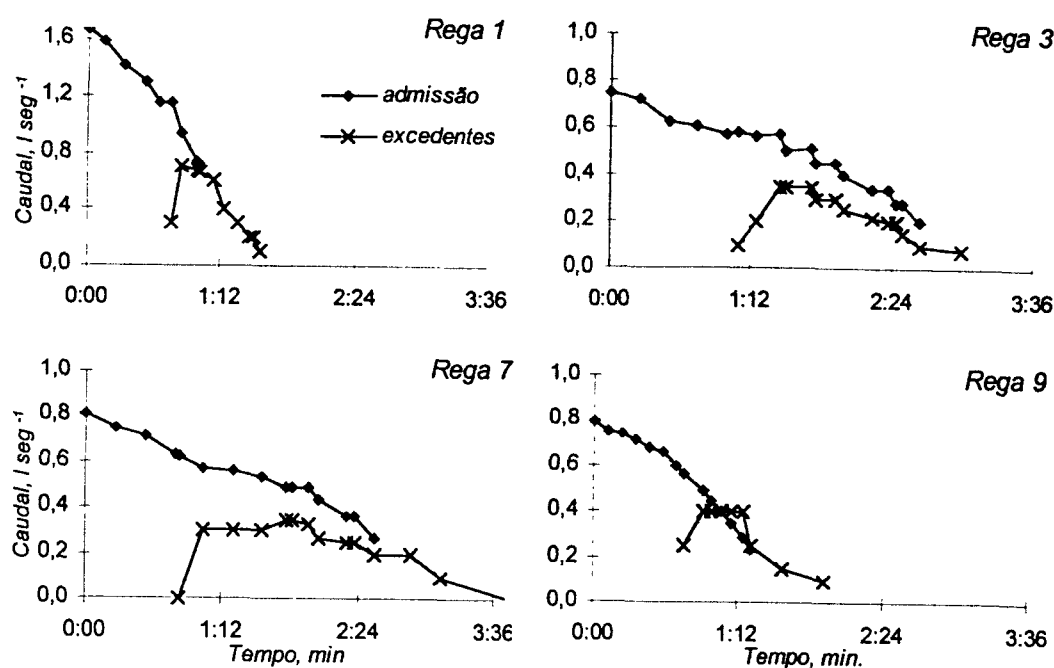


Figura 6.6 Hidrogramas de quatro regas no sulco M5 em 1998.

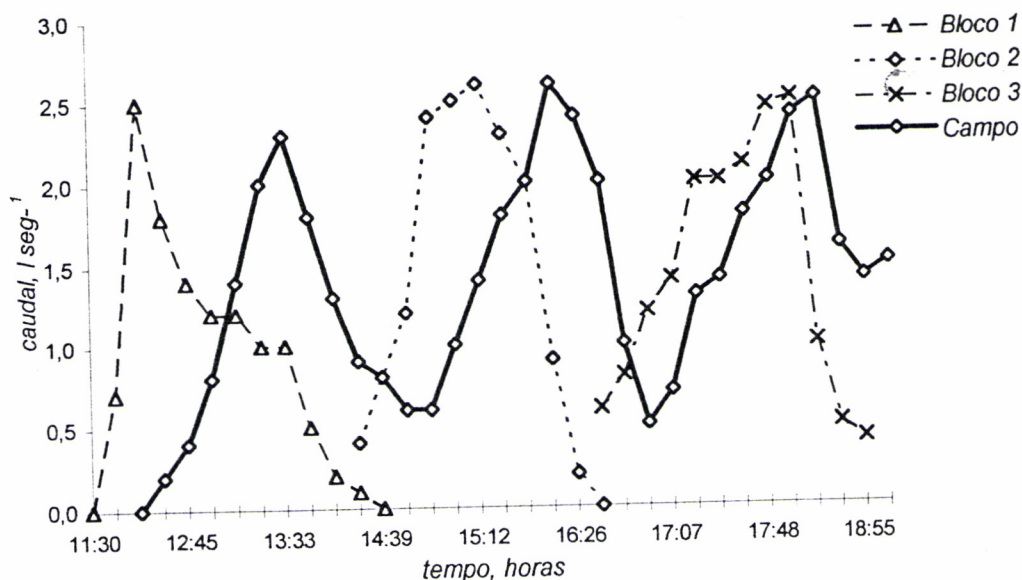


Figura 6.7 Evolução dos caudais excedentes de cada bloco e do campo todo na rega 4, 1999.

6.1.4.4 Eficiência de aplicação

O Quadro 6.4 apresenta a Eficiência de aplicação determinada para os 15 sulcos de medição em 1998 em cinco regas. Estes valores foram determinados a partir dos hidrogramas de admissão-excedentes observados para cada sulco. A primeira rega, como seria de esperar, tem uma eficiência maior, cerca de 77%, observando-se posteriormente uma redução gradual da *EA* ao longo da campanha de 1998, chegando a 66% na rega 9. Estas eficiências são relativamente baixas e devem-se por um lado à baixa infiltrabilidade natural destes solos e por outro à inadequação dos módulos parcelares utilizados, que eram excessivos. Por este razão, os módulos parcelares foram reduzidos em 1999, através da diminuição da distância entre os orifícios (ver Anexo 6.8), o que veio a alterar o hidrograma dos caudais debitados nos sulcos.

Quadro 6.4 A Eficiência de aplicação, EA, de 15 sulcos em 1998, e EA global de algumas regas em 1999.

Rega	EA, %													
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M10	M11	M12	M13	M14	M15	média
1	77	76			75		67			90				77
3	71	71	72	70	73	73	69	80	79	83	69	74	69	73
5	65	69	63	78	72	75	64	77	67	64	78	83	72	71
7	63	70	62	76	57	71	62	65	63	65				66
9	63	63	61	54	54	58	58	77	92		82	79	52	66
média	68	70	64	70	66	69	64	75	75	75	76	79	64	71

Rega	N.blocos consid.	Duração hh:mm	Caudal l min ⁻¹	Vol.aplic. l	Vol.Exced. l	Dotação útil mm	EA %
3	4	12:30	600	450000	70058	16	84
4	3	8:30	600	306000	40446	16	87
8	3	8:20	600	300000	36960	16	88
19	3	8:50	600	318000	92754	14	71
21	3	7:09	600	257400	79542	11	69
23	3	8:17	600	298200	88092	13	70
26*	3	9:57	600	358200	117210	15	67
27	4	7:17	600	262200	67893	8	74
29	4	8:30	600	306000	91745	9	70

* Dotação aplicada superior à recomendada

Verifica-se que neste ano há uma diminuição consistente da duração da rega e da dotação aplicada que passa de perto de 16 mm na terceira rega para 9 mm no fim da campanha. A formação de crosta e o alisamento da superfície dos sulcos diminuem a infiltração ao longo da campanha, levando o CaboGest a reduzir o tempo de aplicação e a dotação recomendada de acordo com a redução da infiltrabilidade observada. No entanto, e apesar das reduções constantes do tempo de aplicação ao longo da campanha, uma percentagem crescente da água aplicada percorre o campo sem infiltrar, pelo que a eficiência global do campo diminui ao longo da campanha, passando de perto de 85% nas primeiras regas de 1999, para perto dos 70% no fim da época. Estes valores são melhores do que os obtidos no ano anterior, devido em parte a um hidrograma de admissão mais favorável e a redução do módulo parcelar médio.

Por outro lado, observa-se que a eficiência global é ligeiramente maior quando o bloco 4 é também considerado, o que se deve ao maior comprimento dos sulcos deste bloco, proporcionando maior superfície de infiltração. De facto, a eficiência aumenta com o comprimento dos sulcos, como se pode observar na Figura 6.8, baseada nos valores obtidos em 1998.

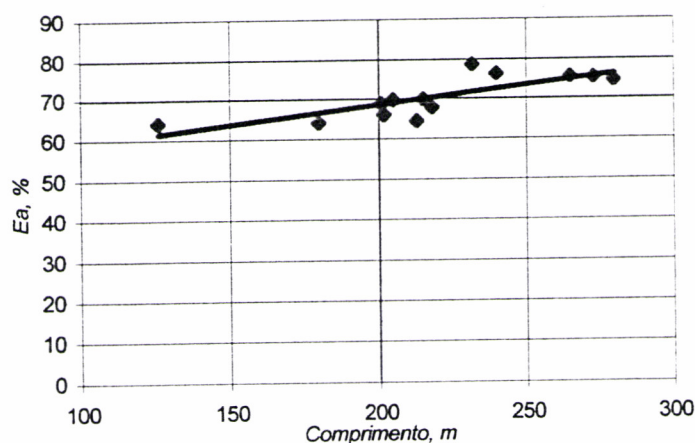


Figura 6.8 Variação da eficiência de aplicação média com o comprimento do sulco, 1998.

6.1.5 A evolução da rugosidade

Verifica-se que a rugosidade superficial dos sulcos é elevada na primeira rega, cerca de 0,07 em 1999, devido aos agregados soltos deixados pelas operações culturais, diminuindo posteriormente à medida que a superfície dos sulcos é alisada pelo escoamento, atingindo o valor de 0,045 na nona rega (Fig. 6.9). Nessa altura, pode-se assumir que o processo de envidramento e alisamento da superfície dos sulcos já se encontra finalizado. A partir dessa rega surgem aparentemente outros factores que influenciam o seu valor, tais como o crescimento de infestantes no sulco, assistindo-se a flutuações do seu valor.

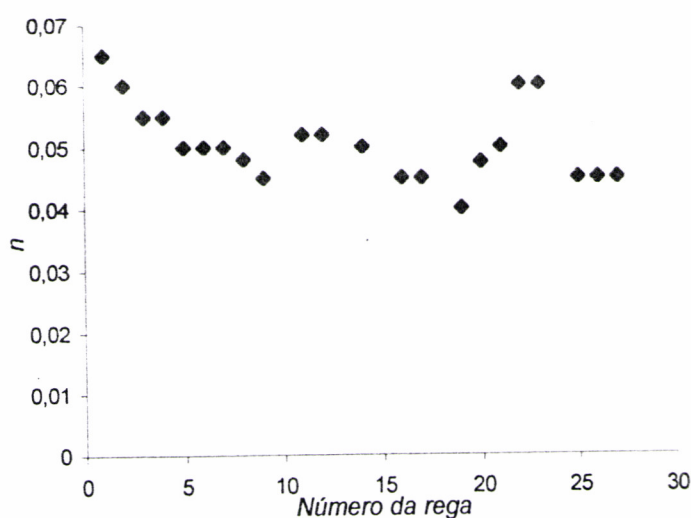


Figura 6.9 Evolução do coeficiente de rugosidade de Manning ao longo de 1999.

Nas regas realizadas com módulos parcelares reduzidos, (regas 21, 22 e 23) o valor do n sobe para 0,05 (rega 21, com diâmetro equivalente de 18) e 0,06 (regas 22 e 23 com diâmetro equivalente de 15), voltando outra vez para 0,045 nas últimas regas realizadas com módulos parcelares habituais. Pode-se assumir que os valores elevados de n observados nestas regas não reflectem uma alteração real nas características da superfície dos sulcos, mas sim que estão relacionados com a profundidade de escoamento. Por outras palavras, o escoamento com um caudal de $0,2 \text{ l s}^{-1}$ produzirá um valor de n mais elevado do que seria obtido utilizando um módulo parcelar de 2 l s^{-1} (ver, por exemplo, os valores da rugosidade apresentados no Quadro 6.6).

Efectivamente, o coeficiente de rugosidade aplica-se mais correctamente numa situação em que existe uma relação única entre a profundidade e a velocidade de escoamento e a rugosidade. No caso da rega de superfície, surge um novo factor, nomeadamente a infiltração, que vem perturbar esta relação unívoca. De facto, a infiltração ao longo do sulco reflecte-se na profundidade de escoamento, reduzindo a velocidade, o que é interpretado pela equação de fluxo uniforme de Manning como o aumento da rugosidade. Por esta razão o valor do n determinado pela referida equação será afectado pela infiltrabilidade do solo e pelo módulo parcelar utilizado.

6.1.6 Dotação aplicada

O programa CaboGest recomenda a dotação de cada rega com base na equação de infiltração determinada em tempo real. Essa dotação está optimizada em função da infiltração instantânea e considera que a partir de um valor pré-definido ($0,5 \text{ mm min}^{-1}$ para estes ensaios), os acréscimos de infiltração obtidos não justificam o prolongamento do tempo de aplicação. Em 1999 o programa reduziu a dotação proposta de 24 mm na primeira rega, para 4,4 mm no fim da época, procurando acompanhar as condições do solo (Quadro 6.5). O conceito de ajustar a dotação a aplicar à infiltrabilidade parece estranho à primeira vista, no entanto, nos solos argiluvitados a infiltrabilidade diminui bastante ao longo da rega e da campanha, havendo necessidade da adaptação dos tempos de aplicação, sob pena de resultarem eficiências reduzidas.

Na rega 26, em que a dotação recomendada foi de 4,4 mm, pediu-se ao sistema para aplicar 8 mm, o que aumentou a duração total da rega em 3 horas e 42 minutos,

Quadro 6.5 As dotações teóricas e as reais aplicadas em algumas regas, 1999.

Rega	Eq. infiltração		EA %	Dotação teórica, mm		Dotação útil, mm
	k	a		recomendada	aplicada	
1	8,93	0,293		24,0	24,0	
3	3,13	0,318	84,4	8,0	8,0	16,4
4	3,41	0,264	86,8	8,0	8,0	16,1
8	2,37	0,307	87,7	8,0	8,0	16,0
19	1,76	0,288	70,8	4,0	7,0	13,7
21	2,37	0,225	69,1	5,0	6,0	10,8
23	2,11	0,220	70,5	5,0	6,0	12,8
26	2,22	0,256	67,3	4,4	8,0	14,7
27	2,22	0,256	74,1	4,4	4,4	8,4
29	2,22	0,256	70,0	4,4	4,4	9,2

passando assim a dotação média realmente infiltrada de 9,2 para 14,7 mm. No entanto, como consequência, assistiu-se a diminuição da *EA*, que passou de 70 para 67%.

Conforme será oportunamente discutido na secção 6.2.3, o teor de água no solo é um dos factores que influenciam a infiltrabilidade. Como a dotação recomendada pelo CaboGest se baseia na equação de infiltração, pode-se esperar que exista uma relação inversa entre a humidade do solo e a dotação recomendada pelo programa (Fig. 6.10). Assim, sempre que o solo se encontrar mais seco, a dotação aplicada será maior, o que é importante para a manutenção do teor de água do solo.

Constata-se através da Figura 6.11, que ao longo da campanha de 1999, o teor volumétrico médio da água na camada 0-40 cm, na linha das plantas, foi mantido entre os 17,2 e 23,1%. Verifica-se uma redução do teor de água no solo por volta de 15 de

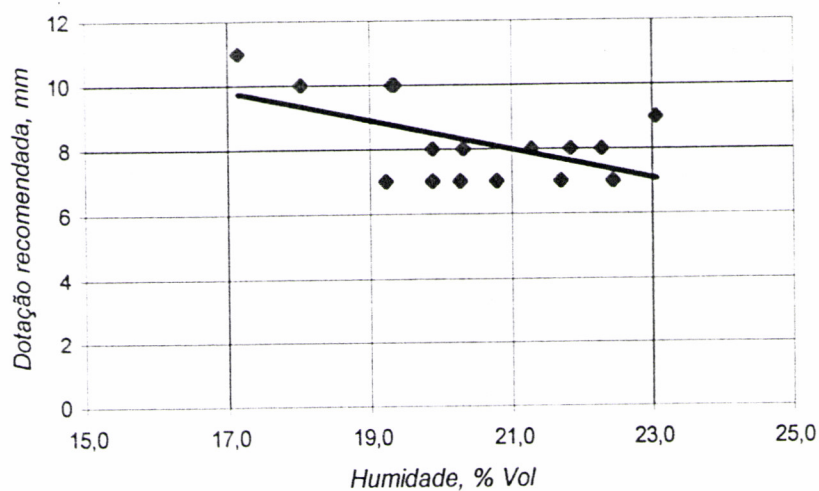


Figura 6.10 Relação entre a humidade do solo e a dotação recomendada pelo CaboGest (excepto a primeira rega).

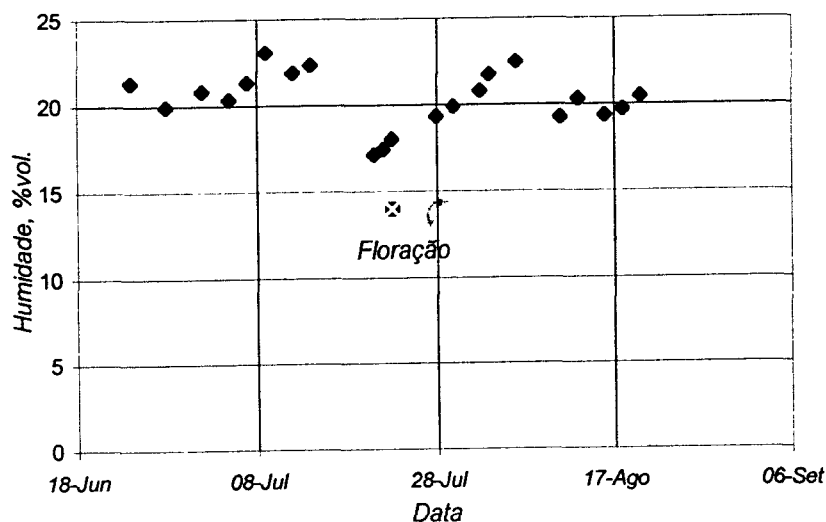


Figura 6.11 Evolução da humidade do solo ao longo da campanha de 1999 (média do perfil até aos 40 cm de profundidade).

Julho, que se deve ao início da floração e o aumento das necessidades hídricas da cultura, assistindo-se depois a recuperação dos teores iniciais (Anexo 6.9).

A dotação útil aplicada no campo é superior ao valor indicado pelo programa CaboGest, pelo facto da dotação recomendada pelo programa se referir ao último ponto do sulco e, por outro, a modelação realizada não contabilizar o tempo de recessão, que tem sido cerca de 60 minutos para os sulcos de 200 m. Os dados de 1999 mostram que efectivamente a dotação útil média de toda a parcela é cerca de dobro do valor indicado pelo programa para o ponto mais desfavorecido do sulco (Fig. 6.12). Por esta razão, as versões mais recentes do programa exibem também uma dotação média baseada no volume total admitido.

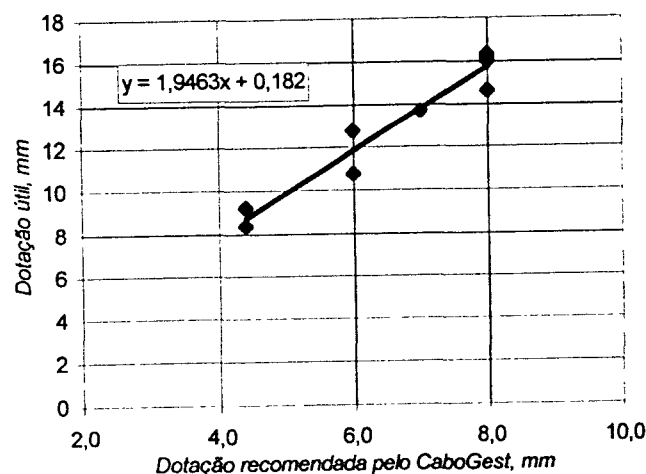


Figura 6.12 Relação entre a dotação recomendada pelo CaboGest, e a dotação útil aplicada.

6.2 Estudo da infiltração

6.2.1 Evolução da infiltrabilidade ao longo da campanha

Através das equações fornecidas pelo CaboGest, pode-se verificar que a infiltrabilidade durante a primeira rega é relativamente elevada, infiltrando 15 e 26 l m⁻¹ ao fim de 40 minutos, respectivamente em 1998 e 1999 (Fig. 6.13). A grande diferença de infiltrabilidade na primeira rega entre os dois anos pode ser atribuída a utilização de 10 ppm de poliacralamidas em 1999, existindo diferenças menos significativas nas regas seguintes, à medida que o efeito da PAM se desvanece.

1998		
Rega nº	k	a
Rega 1	10,79	0,095
Rega 3	5,85	0,197
Rega 5	3,84	0,243
Rega 7	2,62	0,289
Rega 9	0,9	0,296
Rega 11	3,03	0,287

1999		
Rega nº	k	a
Rega 1	8,93	0,293
Rega 2	3,50	0,325
Rega 3	3,13	0,318
Rega 4	3,41	0,264
Rega 5	1,97	0,354
Rega 6	3,26	0,249
Rega 8	2,37	0,307
Rega 9	2,38	0,284
Rega 11	3,20	0,272
Rega 12	3,04	0,257
Rega 14	3,04	0,257
Rega 16	2,89	0,235
Rega 17	1,75	0,350
Rega 19	1,76	0,288
Rega 20	2,61	0,273
Rega 21	2,37	0,225
Rega 22'	5,59	0,109
Rega 23'	2,11	0,22
Rega 25	2,57	0,273
Rega 26'	2,22	0,256
Rega 27	2,22	0,256

*rega c/mód.parcelar reduzido

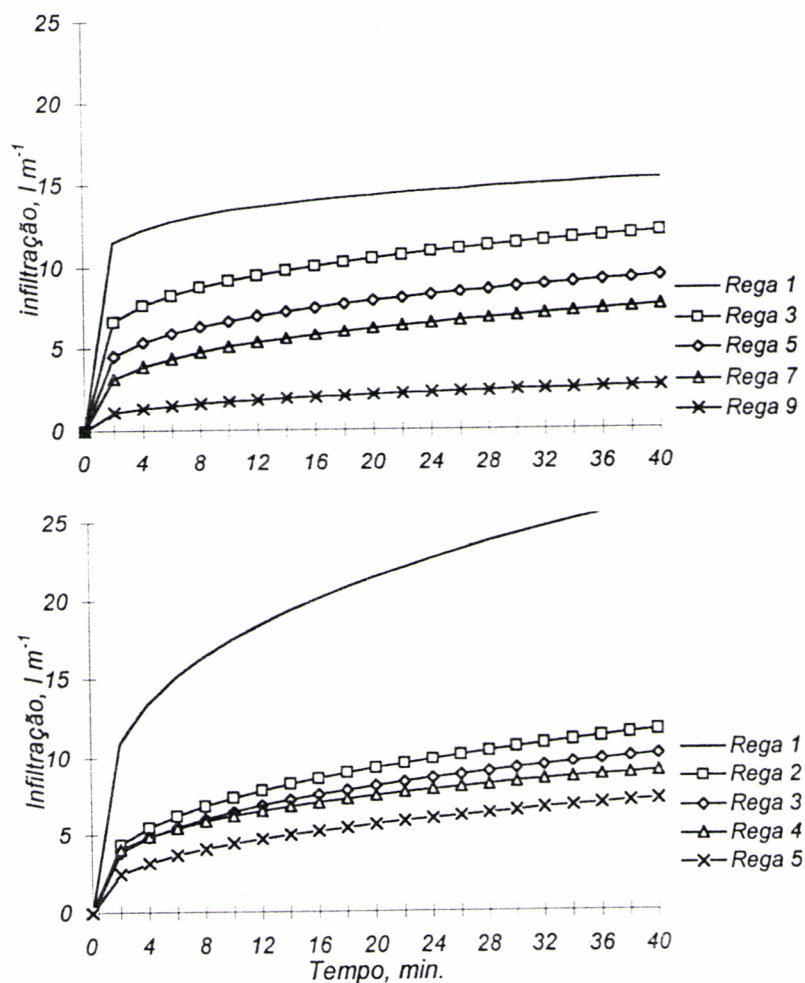


Figura 6.13 Evolução da infiltrabilidade ao longo da campanha de 1998 (em cima) e 1999 (em baixo). Os parâmetros das equações de infiltração estão apresentados à esquerda.

A diminuição da infiltrabilidade do solo com as regas é nítida em todos os anos do ensaio, sendo mais importante após a primeira rega, seguida de reduções gradualmente menos acentuados ao longo das quatro ou cinco regas seguintes. A primeira rega é realizada com o solo entorroadado e solto, onde por um lado, a macroporosidade existente permite uma boa infiltração e, por outro, a velocidade do avanço é significativamente reduzida pela rugosidade, o que contribui também para o aumento da superfície infiltrante e do volume infiltrado. A fraca estrutura do solo e o seu baixo teor em matéria orgânica propiciam a desagregação dos torrões, e a sua sedimentação na superfície do sulco induz a formação da crosta e o entupimento dos poros existentes. Este processo é mais significativo durante a primeira rega, diminuindo de intensidade ao longo das regas seguintes. Após algumas regas, outros factores, tais como o aumento da rugosidade devido ao crescimento de infestantes e a variação do teor de água do solo, passam a influenciar em grande medida a infiltrabilidade do sulco.

A infiltração é bastante elevada no primeiro minuto da rega e igual ao valor do coeficiente k , diminuindo significativamente nos cinco ou seis minutos seguintes, evoluindo depois para valores muito reduzidos, característicos dos solos Argiluviosos e adequadamente representados através da equação do Kostiakov (Fig. 6.14). Verifica-se, porém, que embora nos primeiros minutos a infiltração instantânea seja diferente entre as

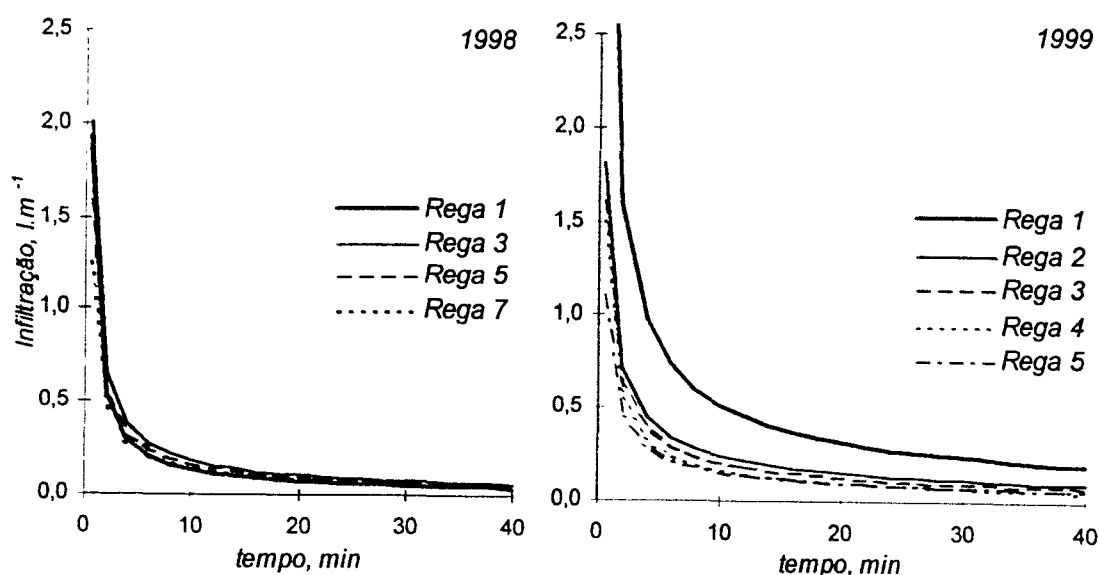


Figura 6.14 Evolução da infiltrabilidade instantânea ao longo da campanha de rega de 1998 e 1999.

várias regas, tende, com o tempo, para valores muito semelhantes (regas 1-7), e decorridos por exemplo 40 minutos, é praticamente igual nas várias regas: cerca de $0,06 \text{ l m}^{-1}$ em 1998 e $0,07 \text{ l m}^{-1}$ em 1999 (A primeira rega pode ser considerada um caso excepcional, por ser realizada com rugosidade muito superior e antes de formação da crosta que resulta da desagregação dos torrões).

Estes valores reduzidos de infiltração instantânea indicam que o processo de infiltração está praticamente concluído ao fim de pouco tempo, não havendo infiltrações significativas com o prolongamento da rega, o que tem várias implicações práticas: a inexistência de percolação e portanto a possibilidade de utilizar sulcos longos sem diminuição da eficiência, a possibilidade de utilizar módulos parcelares reduzidos com boas uniformidades de aplicação, e a dificuldade de infiltrar dotações elevadas.

6.2.1.1 Coeficiente e expoente da equação de infiltração

O coeficiente da equação de infiltração, k , traduz a infiltração na sua fase inicial. A sua diminuição significa a redução da infiltração acumulada num determinado intervalo de tempo. Verifica-se que em ambos os anos, o seu valor diminui rapidamente nas primeiras regas (Fig. 6.15) e tende assintoticamente para um valor próximo de $2 \text{ l min}^{-a} \text{ m}^{-1}$, o que traduz bem a diminuição acentuada da infiltrabilidade inicial dos sulcos. Por sua vez o expoente da equação, a , que traduz a linearidade da curva de infiltração acumulada, tende a aumentar ligeiramente ao longo das regas, também em direcção a uma assíntota.

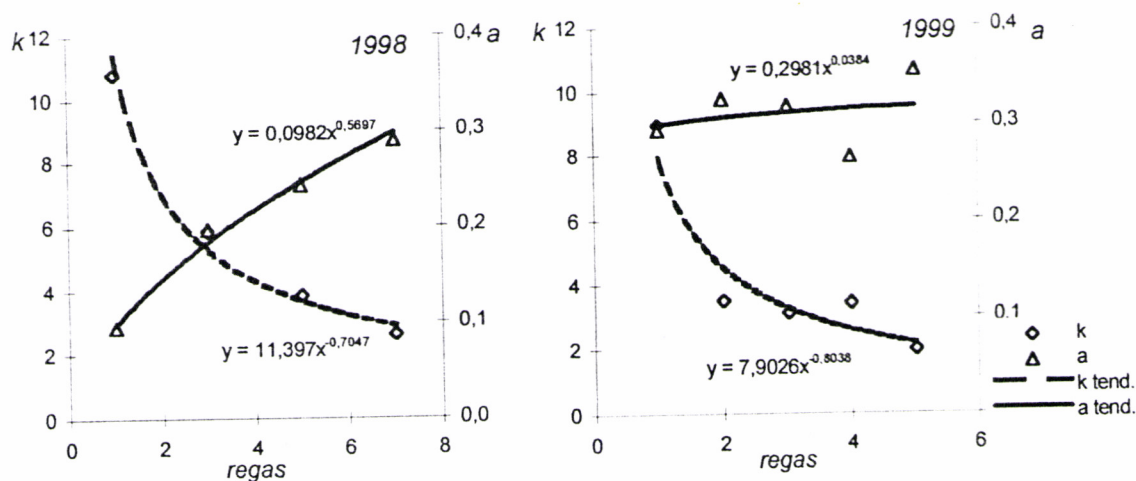


Figura 6.15 Evolução dos parâmetros da equação de infiltração, k em $\text{l min}^{-a} \text{ m}^{-1}$ e a , ao longo das campanhas de rega de 1998 e 1999.

Quadro 6.6 Coeficiente e expoente da equação de infiltração ao fim de algumas regas

ano	$k, l \min^{-a} m^{-1}$	a
1997 (rega 7)	2,10	0,449
1998 (rega 7)	2,62	0,289
1999 (rega 8)*	2,33	0,307

* A equação de infiltração não foi determinada na sétima rega.

Da mesma forma e apesar das diferenças nos trabalhos de mobilização, e de aplicação de PAM em 1999, verifica-se que após algumas regas, o coeficiente e o expoente da equação de Kostiakov tendem para valores semelhantes. Efectivamente, em todos os anos, ao fim de cerca de 7 regas, k assume um valor de cerca de $2,3 l \min^{-a} m^{-1}$, e a cerca de 0,3 (Quadro 6.6), valores esses que podem ser considerados característicos do solo com uma superfície evoluída, estando mais dependentes das propriedades intrínsecas do próprio solo do que da preparação do terreno.

6.2.1.2 Variação de k e a com os tempos de avanço

No método dos dois pontos o volume infiltrado e consequentemente os parâmetros da equação de infiltração são determinados através dos tempos de avanço. Os avanços de 11 regas em 1999 com caudais constantes e iguais permitem constatar que o coeficiente da equação de infiltração aumenta linearmente com os tempos de avanço (Fig. 6.16). Por sua vez, o expoente diminui ligeiramente com o aumento dos tempos de avanço, o que vem de certa forma confirmar que o seu valor é ditado pelas características do solo, sendo pouco influenciado pelos tempos de avanço.

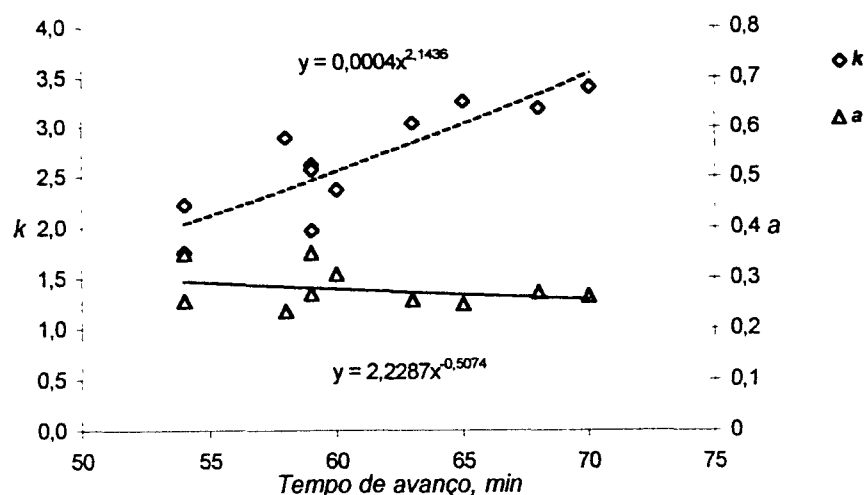


Figura 6.16 Variação do coeficiente, k em $l \min^{-a} m^{-1}$, e do expoente, a da equação de infiltração com o tempo necessário para avançar 220 m, tf , e as respectivas linhas de tendência (valores de 11 regas com caudais constantes e iguais, 1999).

6.2.2 Influência do módulo parcelar sobre os tempos de avanço

Para avaliar a influência do módulo parcelar sobre a velocidade do avanço e os parâmetros da equação de infiltração determinada pelo método dos dois pontos de Elliot e Walker, foi realizado em 1998 um ensaio com caudais constantes. Em dez sulcos do bloco 2 que apresentavam um declive relativamente regular foram aplicados caudais de projecto constantes de 0,1 até 1 l s⁻¹, em incrementos de 0,1 l s⁻¹ (ver secção 3.5.8). Este estudo foi realizado no fim da campanha, portanto quando os sulcos se apresentavam com a superfície lisa e com condições de infiltração estabilizada. Os resultados obtidos estão resumidos no Quadro 6.7.

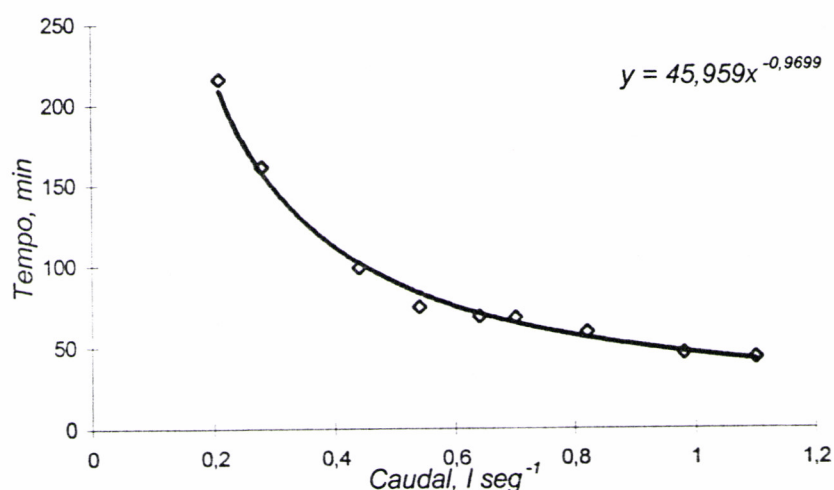


Figura 6.17 Variação do tempo de avanço até ao fim do sulco com o módulo parcelar.

Quadro 6.7 Tempos de avanço até aos 100 e 200 m, t_m e t_f , os parâmetros das equações de infiltração, k e a , os perímetros molhados a cabeceira do sulco, pm , e os coeficientes de rugosidade de Manning, n , determinados pelo CaboGest para os vários módulos parcelares.

Caudal l s ⁻¹	t_m , min	t_f , min	k , l min ^{-a} m ⁻¹	a	pm , m	n
0,21	84	216	2,53	0,324	0,168	0,075
0,31	64	161	2,61	0,327	0,186	0,070
0,44	41	99	2,93	0,310	0,220	0,065
0,58	32	75	3,09	0,297	0,243	0,055
0,64	30	69	2,90	0,306	0,248	0,055
0,72	29	68	3,22	0,286	0,250	0,055
0,82	26	59	2,85	0,305	0,260	0,050
0,98	21	46	3,29	0,260	0,292	0,042
1,10	20	43	3,15	0,256	0,296	0,040

Como seria de esperar, o aumento do caudal origina uma redução dos tempos de avanço. Assim, quando o caudal aumenta de 0,21 para 1,1 l s⁻¹, o tempo de avanço até aos 200 m diminui de 216 min. para 43 min. Relacionando estes dois parâmetros, observa-se que a relação não é linear mas sim uma função exponencial (Fig. 6.17). Efectivamente, para caudais muito pequenos, o tempo de avanço tende para infinito, diminuindo rapidamente até caudais de cerca de 0,4 l s⁻¹. A diminuição do tempo de avanço por cada incremento do caudal é sucessivamente menor, especialmente a partir de cerca de 1 l s⁻¹.

Por outro lado, à medida que aumenta o caudal, aumenta o quociente entre o tempo de avanço até ao meio, *tm* e fim do sulco, *tf*, ou seja, o tempo de avanço na segunda metade do sulco diminui mais do que proporcionalmente (Fig. 6.18). Quando o caudal é pequeno, quase toda a água infiltra em pequena distância. À medida que aumenta o módulo parcelar, uma proporção crescente fica disponível para realizar o avanço, que se torna mais rápido, enquanto os tempos de avanço nas duas metades do sulco se aproximam, pois são realizados com caudais mais semelhantes.

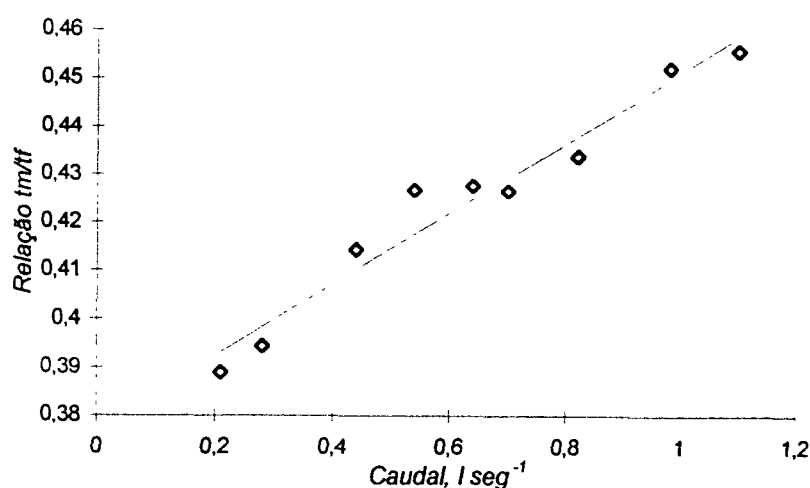


Figura 6.18 Variação da relação *tm/tf* com o caudal aplicado.

6.2.2.1 Influência do caudal sobre a equação de infiltração determinada pelo método dos dois pontos de Elliot e Walker

Através da análise dos resultados apresentados no Quadro 6.7 verifica-se que o coeficiente *k* aumenta ligeiramente com o módulo parcelar, passando de cerca de 2,5 l min^{-a} m⁻¹ com um caudal de 0,2 l s⁻¹, para pouco mais de 3 l min^{-a} m⁻¹ com um

caudal de 1 l s^{-1} , ou seja a infiltração inicial aumenta ligeiramente (Fig. 6.19). Por sua vez, e para os mesmos caudais, o expoente a desce ligeiramente de cerca de 0,32 para 0,26, compensando em parte o aumento do k .

Posto isto, e tratando-se de uma gama bastante vasta de caudais, verifica-se através da representação gráfica das infiltrações acumuladas (Fig. 6.20) que as equações de infiltração obtidas pelo método dos dois pontos, embora diferentes, não representam grandes diferenças na taxa de infiltração. Assim, e apesar da existência de uma relação bem definida entre os parâmetros da equação de infiltração e o módulo parcelar, a infiltração calculada através das referidas equações não é significativamente afectada pelo módulo parcelar utilizado na sua determinação.

A explicação desta aparente “insensibilidade” do método dos dois pontos ao módulo parcelar pode estar relacionada com o algoritmo do cálculo. Efectivamente, no método dos dois pontos subtrai-se ao volume admitido num determinado período de tempo ($Q_0 t$), o volume armazenado superficialmente ($\sigma_y A_0 x$), que aumenta com o caudal. Por outro lado, o aumento do caudal reduz os tempos de avanço, pelo que o volume total admitido no sulco durante a fase de avanço não aumenta proporcionalmente com o módulo parcelar. É o efeito conjunto destes factores que induz o método dos dois pontos a determinar praticamente a mesma equação, apesar das grandes variações no caudal e no tempo de avanço.

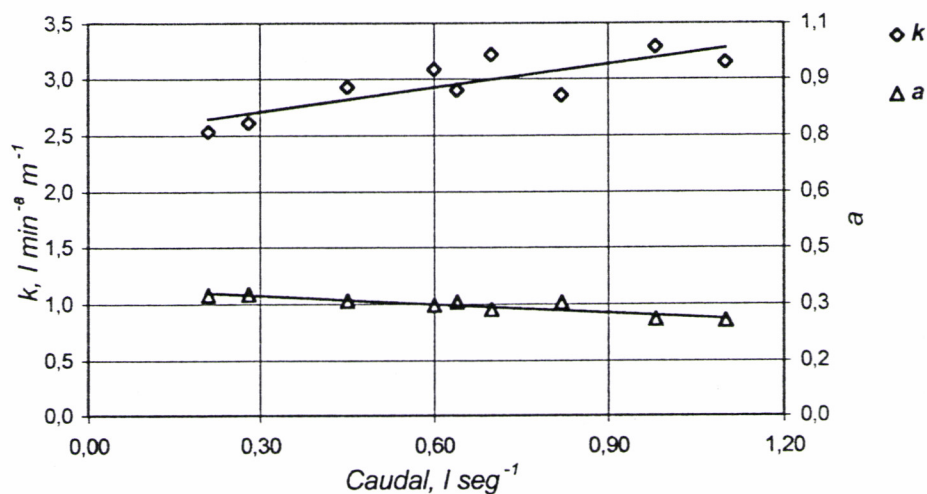


Figura 6.19 Variação do coeficiente, k , e expoente, a , da equação de infiltração com o caudal, e as respectivas linhas de tendência.

No entanto, realizando um balanço entre os volumes admitidos e os excedentes dos sulcos deste ensaio, verifica-se que o volume efectivamente infiltrado no solo aumenta com o módulo parcelar. A dotação média ao longo do sulco passa de 16 mm para perto de 23 mm, quando o caudal aumenta de $0,3 \text{ l s}^{-1}$ para 1 l s^{-1} (Fig. 6.21). Diversos autores (Strelkoff e Souza, 1984; Samani *et al.*, 1985) apontam para relações quase lineares entre a infiltração e a profundidade de escoamento, enquanto que outros (Izadi e Wallender, 1985; Trout, 1992) não têm conseguido reproduzir esta relação em condições de escoamento. Os dados do presente ensaio indicam que efectivamente a infiltração média no sulco aumenta linearmente com o módulo parcelar e portanto com o perímetro submerso (Fig. 6.21), apesar dos parâmetros das equações de infiltração obtidas serem relativamente constantes, devido ao facto do método dos dois pontos aparentemente diluir o efeito do aumento de infiltração no cálculo do armazenamento superficial.

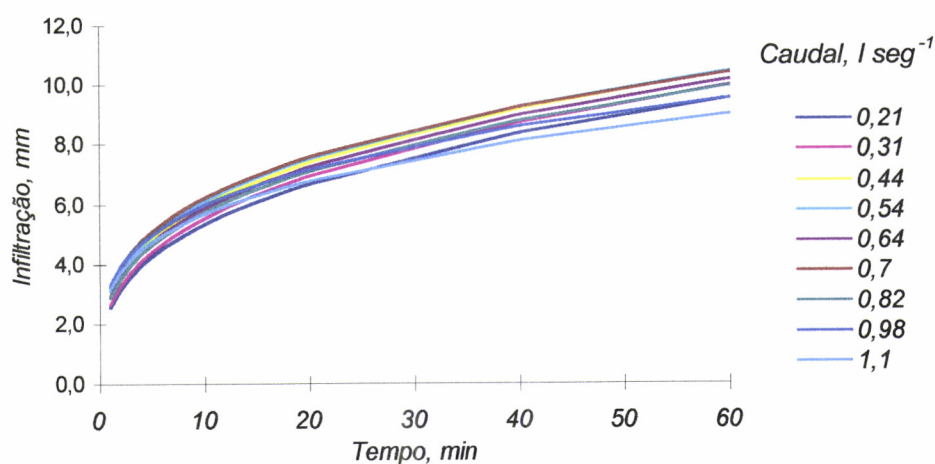


Figura 6.20 Representação gráfica das equações de infiltração determinadas com os vários caudais.

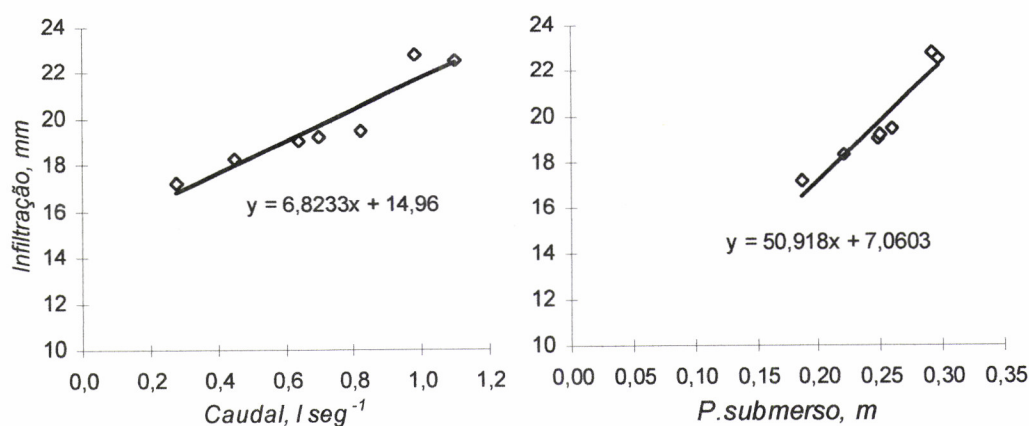


Figura 6.21 Influência do caudal (Esq.) e do perímetro submerso (Direita) sobre a infiltração.

6.2.3 Influência do teor de água sobre a infiltração

Para estudar a influência da humidade inicial do solo sobre a infiltração e sobre a velocidade do avanço, o ensaio descrito na secção anterior com dez caudais diferentes foi repetido para três teores diferentes de água no solo: 16, 22, e 25% vol. de água, representando aproximadamente o coeficiente de emurchecimento, um estado intermédio e a capacidade de campo. Os tempos de avanço e restantes dados obtidos estão apresentados em Anexo 6.10.

6.2.3.1 Influência do teor de água sobre o avanço

Observa-se que os tempos de avanço no sulco diminuem significativamente com o aumento de humidade do solo (Fig 6.22). O efeito do teor de água sobre os tempos de avanço é mais significativo para caudais pequenos, diminuindo à medida que aumenta o caudal. Face ao exposto, verifica-se que quanto mais seco se encontrar o solo, maiores podem ser os caudais aplicados, devendo-se prolongar a rega adequadamente, de modo a garantir a infiltração em toda a parcela.

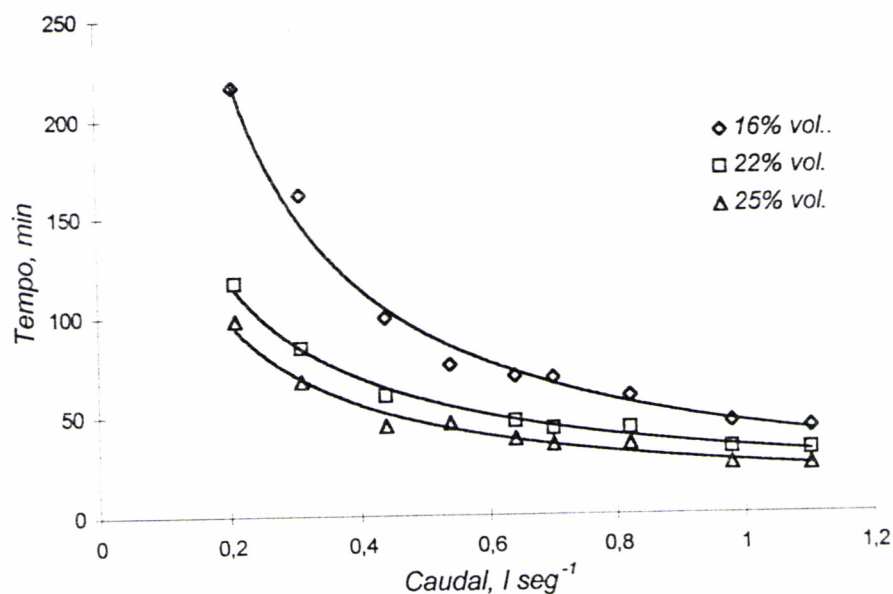


Figura 6.22 Efeito do teor inicial de água no solo e do caudal sobre o tempo de avanço até aos 200 m.

6.2.3.2 Influência do teor de água e do caudal sobre a infiltração

Na Figura 6.23 estão apresentadas, a título de exemplo, os hidrogramas de entrada e saída para quatro caudais diferentes ($0,3 \text{ l s}^{-1}$, $0,4 \text{ l s}^{-1}$, $0,6 \text{ l s}^{-1}$ e $0,7 \text{ l s}^{-1}$). Observa-se que para um dado módulo parcelar, os caudais excedentes são maiores no solo à capacidade do campo e no solo com teor de água intermédio, não só em termos de volume total, como também em termos do caudal de pico (Anexo 6.11). Sob condições de saturação hídrica, o caudal excedente aproxima-se bastante do módulo parcelar, o que aparentemente representa uma infiltração quase nula em todo o sulco, uma característica interessante deste tipo de solo.

Na Figura 6.24 pode-se observar as dotações efectivamente infiltradas sob diferentes condições hídricas do solo. Verifica-se que a dotação infiltrada durante a rega varia inversamente com o teor de humidade do solo. No entanto, a magnitude desta relação é afectada pelo módulo parcelar, pois a diferença na infiltração entre o solo com

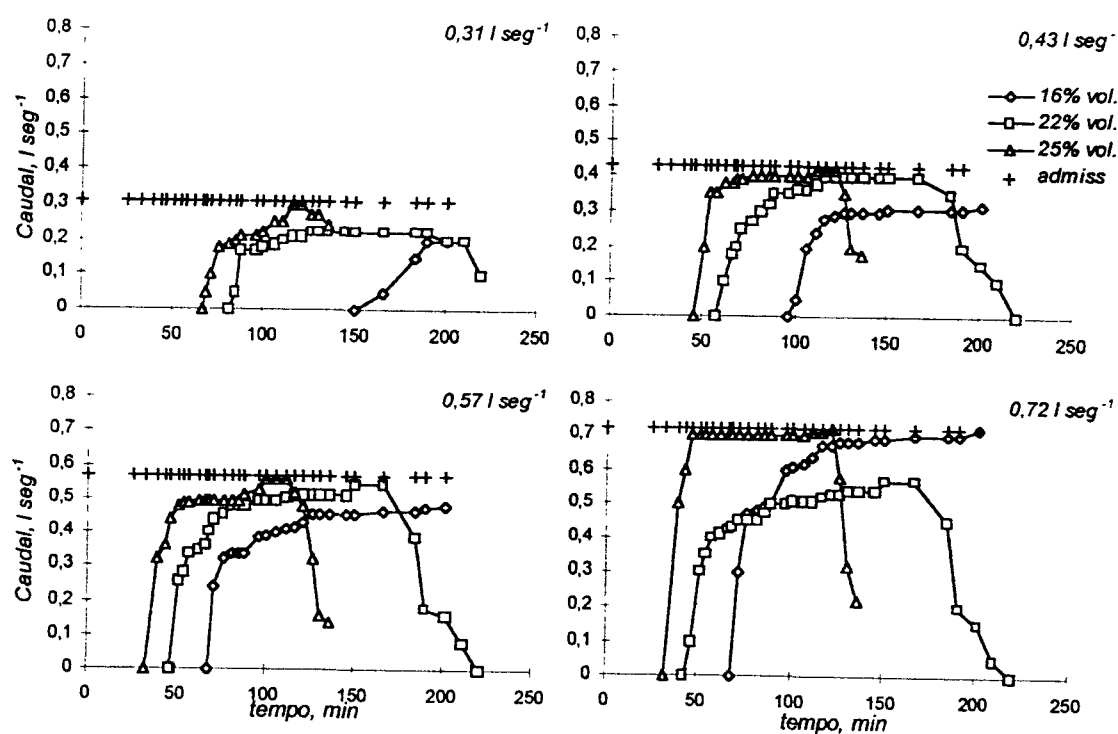


Figura 6.23 Hidrogramas de admissão-excedentes sob diferentes condições hídricas. O corte no fornecimento da água em cada ensaio foi realizado 60 minutos depois do fim do avanço: aos 200 minutos no solo seco, aos 166 minutos no solo com teores intermédios e aos 105 minutos no solo saturado.

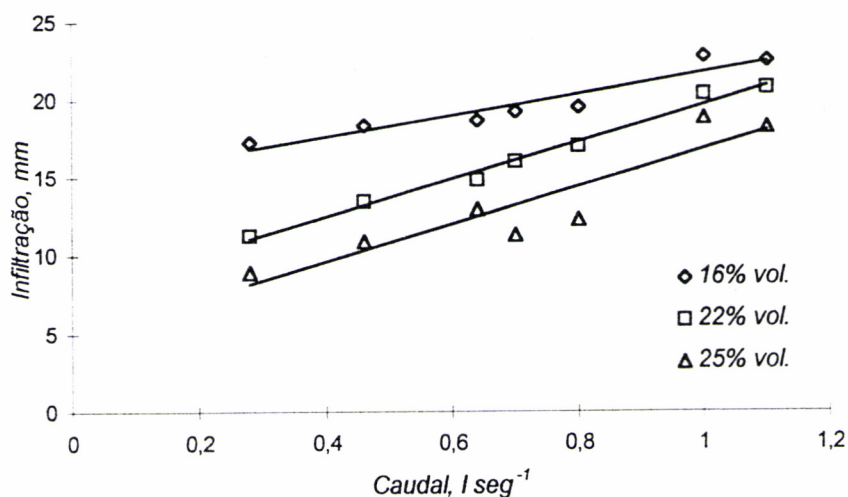


Figura 6.24 Variação da infiltração com o teor de água e com o caudal.

teor de água correspondente ao Coeficiente de emurchecimento e com 22% vol. de humidade é 8 mm quando se pratica o caudal menor e apenas 4 mm quando se pratica o caudal máximo experimentado. À medida que aumenta o teor de água, a diminuição do potencial matricial reduz a magnitude do fluxo horizontal, fazendo com que a infiltração seja menos dependente do perímetro molhado e do caudal.

O Quadro 6.8 representa a Eficiência de aplicação obtida com os diferentes teores de água do solo e caudais. Verifica-se que, nas condições do ensaio, a Eficiência de aplicação é inversamente proporcional ao teor de água do solo e ao módulo parcelar, diminuindo 12 pontos percentuais quando a humidade passa de 16% para 25% vol.

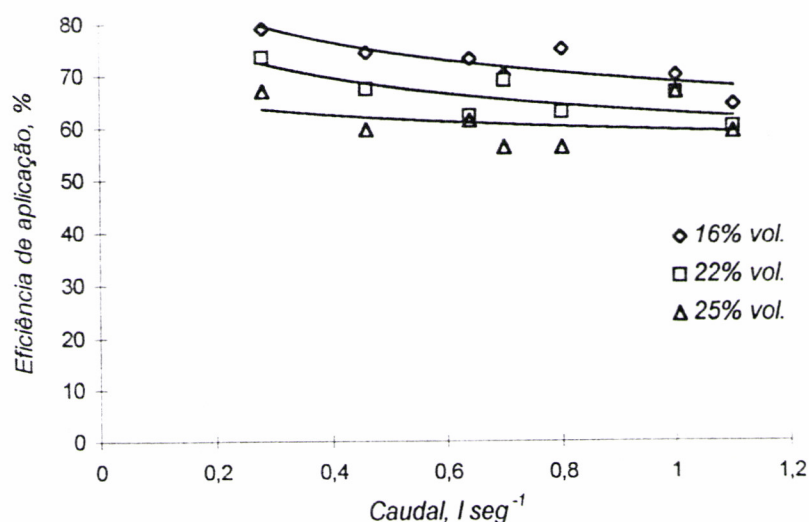


Figura 6.25 Variação da Eficiência de aplicação com o teor de água e com o módulo parcelar.

Como já foi referido, o avanço no sulco é acelerado com o aumento do teor de água do solo, conduzindo a menores tempos de aplicação. No entanto, como os caudais excedentes são maiores, assiste-se a uma redução da Eficiência de aplicação. Por outro lado, verifica-se que a eficiência diminui com o aumento do módulo parcelar. Deste modo, e como não existe percolação neste tipo de solo, pode-se maximizar a eficiência de aplicação recorrendo a regas com módulos parcelares reduzidos, procurando simultaneamente aumentar o intervalo entre as regas, dentro das limitações impostas pela cultura.

Quadro 6.8 Eficiência de aplicação, *EA*, (em percentagem) para os diferentes módulos parcelares (em $l\ s^{-1}$) e teores de água.

Humidade do solo	Caudal, $l\ s^{-1}$							Média
	0,28	0,46	0,64	0,7	0,8	1	1,1	
16 % vol.	78,96	74,35	73,01	69,88	74,86	69,82	64,28	72,17
22 % vol.	73,47	67,19	62,04	68,83	62,83	66,47	60,00	65,83
25 % vol.	66,91	59,42	61,23	56,12	56,14	66,79	59,11	60,82
média	73,12	66,99	65,43	64,94	64,61	67,69	61,13	66,27

6.3 Efeito das posições seleccionadas para a determinação da equação de infiltração pelo método dos dois pontos de Elliot e Walker

O método dos dois pontos tem sido utilizado com bastante êxito para sulcos de qualquer comprimento, não existindo à partida limitações à localização dos dois pontos utilizados, estando apenas implícito que o primeiro ponto deve estar localizado próximo do meio do sulco (Serralheiro, 1995). Pouco se sabe sobre o efeito do comprimento sobre as equações obtidas ou o comprimento ideal do sulco para a determinação rigorosa dos parâmetros da equação.

Para este estudo foi sintetizada uma curva de avanço típico a partir de quatro avanços com caudal constante observados num sulco com 220 m, eliminando-se os desfasamentos no avanço atribuíveis à irregularidade nos declives (Anexo 6.12).

Com base nesta curva de avanço e utilizando valores de geometria reais (ver Anexo 6.12), foram considerados 15 diferentes pares de distâncias ao primeiro e segundo ponto, l_m e l_f , e utilizando o programa CaboGest determinadas as respectivas equações de infiltração do tipo Kostiakov (Quadro 6.9). Foram considerados situações com o primeiro ponto exactamente a meia distância entre a cabeceira e o segundo ponto ($l_m = l_f/2$), a jusante ($l_m < l_f/2$) ou a montante ($l_m > l_f/2$) da meia distância entre a cabeceira e o segundo ponto.

Quadro 6.9 Pares de pontos considerados e os respectivos valores obtidos.

l_m , m	l_f , m	t_m , min	t_f , min	k , $l \text{ min}^{-a} \text{ m}^{-1}$	a	t_m/l_m	t_f/l_f	$t_f/l_f /$ t_m/l_m
20	40	5,50	11,25	6,32	0,0546	0,275	0,281	1,023
	60	5,50	17,25	6,25	0,0670	0,275	0,288	1,045
40	60	11,25	17,25	6,00	0,0879	0,281	0,288	1,022
	80	11,25	23,50	5,89	0,1002	0,281	0,294	1,044
	100	11,25	30,00	5,79	0,1109	0,281	0,300	1,067
60	100	17,25	30,00	5,53	0,1286	0,288	0,300	1,043
	120	17,25	36,75	5,42	0,1388	0,288	0,306	1,065
	140	17,25	43,75	5,31	0,1479	0,288	0,313	1,087
80	140	23,50	43,75	5,07	0,1632	0,294	0,313	1,064
	160	23,50	51,00	4,97	0,1717	0,294	0,319	1,085
	180	23,50	58,50	4,88	0,1795	0,294	0,325	1,106
100	180	30,00	58,50	4,66	0,1928	0,300	0,325	1,083
	200	30,00	66,50	4,45	0,2065	0,300	0,333	1,108
	220	30,00	75,50	4,21	0,2307	0,300	0,343	1,144
120	220	36,75	75,50	3,93	0,2489	0,306	0,343	1,121

Apesar de todos os parâmetros de geometria serem constantes e se estar a utilizar uma única curva de avanço, verifica-se que o expoente a da equação aumenta com o comprimento de sulco considerado (lf) e com a distância até ao ponto do meio. Por sua vez, o coeficiente k tem um comportamento inverso, diminuindo com o aumento do lm e lf . A figura 6.26 mostra claramente a alteração sistemática da equação de infiltração com os pares de distância considerados. As curvas sugerem o aumento da infiltração acumulada com o aumento das distâncias consideradas.

A explicação deste fenómeno reside na relação linear existente entre o expoente a , e a velocidade do avanço até ao fim do sulco (Fig. 6.27a). À medida que a frente do avanço percorre o sulco, a profundidade de escoamento diminui, assistindo-se à redução da velocidade média de avanço. Ou seja, por cada incremento de distância, são necessários intervalos de tempo cada vez maiores para realizar o avanço. O método dos dois pontos interpreta isto como um aumento da infiltração por unidade de comprimento do sulco, e portanto quanto maiores forem os lm e lf considerados, maior será a infiltração calculada. Como o expoente a é calculado a partir da relação V_f/V_m (Eq. 2.24), este aumentará significativamente com o aumento dos comprimentos considerados.

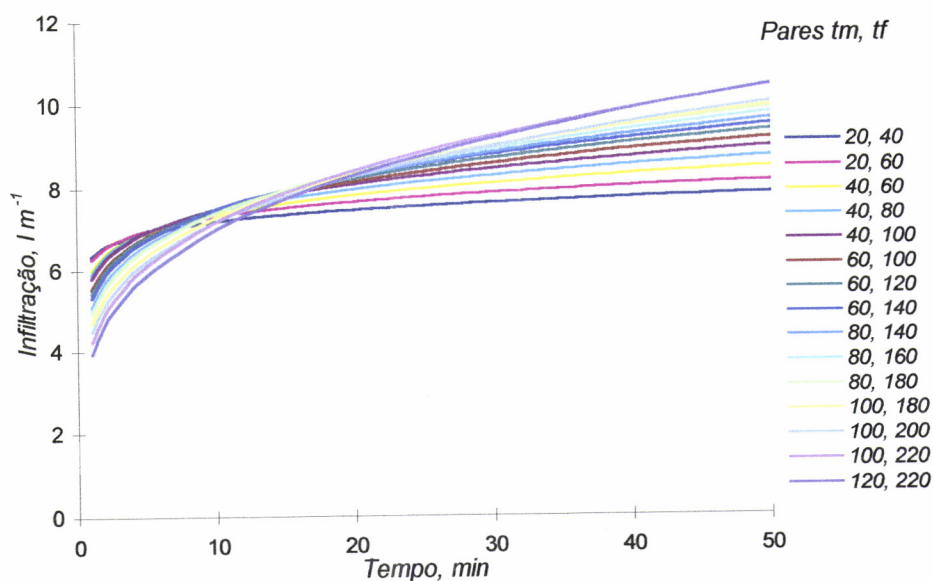


Figura 6.26 Representação das equações de infiltração obtidas pelo método dos dois pontos, considerando comprimentos progressivamente crescentes de sulco ao longo duma mesma curva de avanço.

Como parte do módulo parcelar é infiltrado ao longo do sulco, à medida que a frente do avanço vai percorrendo o sulco, a secção submersa vai diminuindo. De facto, se no primeiro metro dum sulco, a quase totalidade do caudal aplicado estará à superfície e portanto o coeficiente de armazenamento superficial será muito próximo da unidade, aos 200 m do sulco a secção será atravessada por apenas uma pequena fracção do caudal aplicado à cabeceira do sulco, e portanto o armazenamento superficial será pequeno. Por este razão, Renault e Wallender (1997) consideram que quanto maior for o tempo e, portanto os comprimentos considerados para a determinação dos parâmetros da equação de infiltração, menores serão os erros cometidos.

Relativamente ao posicionamento exacto do primeiro ponto, lm , observa-se que a sua localização afecta significativamente os parâmetros da equação de infiltração determinados pelo método dos dois pontos (Fig. 6.27b e Quadro 6.10), embora o seu efeito seja menor do que o do comprimento total do sulco considerado. À medida que a posição do primeiro ponto se afasta do meio do sulco, os valores de k e a sofrem distorções cada vez maiores. O valor do a diminui ou aumenta, consoante o primeiro ponto se aproxima ou afasta da cabeceira, respectivamente.

Efectivamente, embora os parâmetros da equação de infiltração sejam características do solo, não deixam de ser afectados pelas condições de determinação, pelo que é recomendável que o primeiro ponto, lm , esteja o mais próximo do meia distância entre a cabeceira e o segundo ponto, lf .

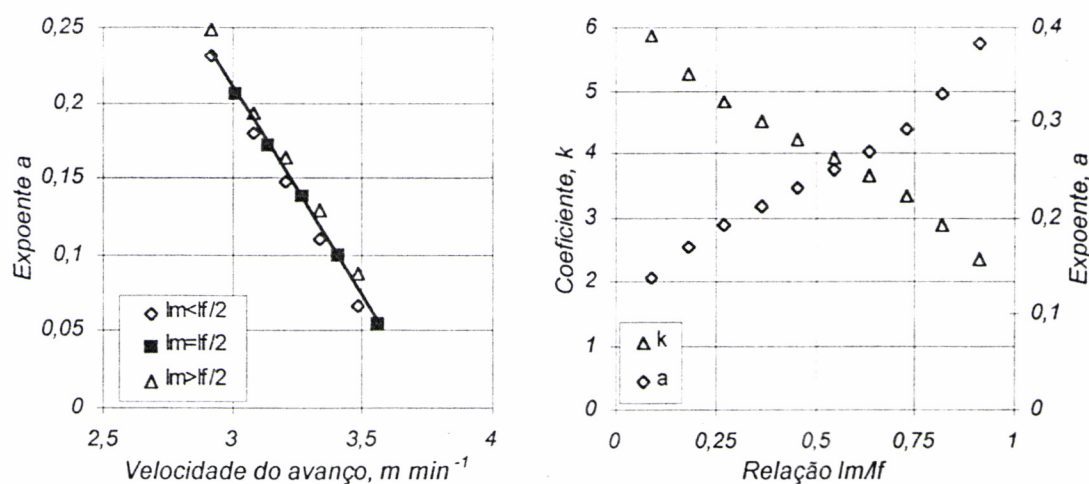


Figura 6.27 a) Variação do coeficiente a com a velocidade do avanço até ao segundo ponto considerado (lf/tf). b) Influência da posição relativa do primeiro ponto considerado sobre o valor dos parâmetros da equação de infiltração, k em $l \text{ min}^{-a} \text{ m}^{-1}$, e a .

Quadro 6.10 Efeito da localização do primeiro ponto, l_m sobre o coeficiente e expoente da equação de Kostiakov.

l_m , m	l_f , m	l_m/l_f	t_m , min	t_f , min	k , $l \text{ min}^{-a} \text{ m}^{-1}$	a
20	220	0,091	5,50	75,5	5,88	0,138
40	220	0,182	11,25	75,5	5,26	0,169
60	220	0,273	17,25	75,5	4,84	0,192
80	220	0,364	23,50	75,5	4,50	0,212
100	220	0,455	30,00	75,5	4,21	0,231
120	220	0,545	36,75	75,5	3,93	0,249
140	220	0,636	43,75	75,5	3,66	0,269
160	220	0,727	51,00	75,5	3,34	0,293
180	220	0,818	58,50	75,5	2,90	0,330
200	220	0,909	66,50	75,5	2,36	0,383

Como já foi referido, no método dos dois pontos o expoente a da equação de infiltração é determinado em função das relações entre os volumes infiltrados ao fim e ao meio do sulco e dos tempos até ao fim e meio do sulco, pelo que, o seu valor é muito sensível às alterações na relação t_m/t_f (Serralheiro, 1988). À medida que a duração do avanço nas duas metades do sulco se aproximam, o valor do expoente diminui, aproximando-se do zero. Deste modo, em solos com grande infiltrabilidade, onde a velocidade de escoamento diminui bastante ao longo do sulco, o valor do a será elevado, enquanto que em solos com baixa infiltrabilidade, a velocidade de escoamento será semelhante ao longo de todo o sulco, obtendo-se um a reduzido. Se a duração do avanço na primeira metade do sulco for superior ao da segunda metade, o expoente apresentará um valor negativo, o que não acontecerá sob condições normais.

O valor do k é determinado *a posteriori*, utilizando o expoente a , para $t = t_f$, e o volume infiltrado até ao fim do sulco (Eq. 2.25). Assim, o coeficiente k é determinado de modo a ajustar a equação, com o a já determinado, à infiltração observada em todo o comprimento do sulco.

6.4 Evolução dos perfis transversais dos sulcos

A organização do campo dos ensaios em blocos de contorno visava a imposição de declives reduzidos (entre 0,2 e 0,23%) com as seguintes vantagens: por um lado, ao reduzir a velocidade de escoamento aumenta a sua profundidade, aumentando assim o perímetro molhado e, consequentemente, a infiltração; por outro lado, a menor velocidade do escoamento reduz a sua capacidade de transporte, contribuindo assim para a conservação do solo. De modo a reduzir ainda mais os processos de destacamento e transporte de sedimentos, em 1999 foi aplicado em todo o campo de ensaio uma suspensão de PAM a uma taxa de 10 ppm (cerca de 1 kg ha^{-1}), no decorrer da 1ª rega.

Os principais processos envolvidos no fenómeno de erosão, ou seja o destacamento, o transporte e a sedimentação, implicam a desagregação dos torrões e o destacamento das partículas terrosas das paredes do sulco, caindo dos taludes para o fundo na secção transversal; implicam também o movimento de transporte das partículas de montante para jusante, ao longo do sulco, podendo verificar-se a sua saída do sulco, com a água excedente da rega, sendo habitual que, devido às regas, os perfis transversais e longitudinais tendam para uma situação de equilíbrio.

A observação dos vários perfis permite distinguir algumas formas típicas de evolução da geometria transversal. Em alguns locais, como por exemplo no troço final dos sulcos (Sulco M2, aos 200 m, Fig 6.28a), verifica-se nitidamente a erosão do fundo

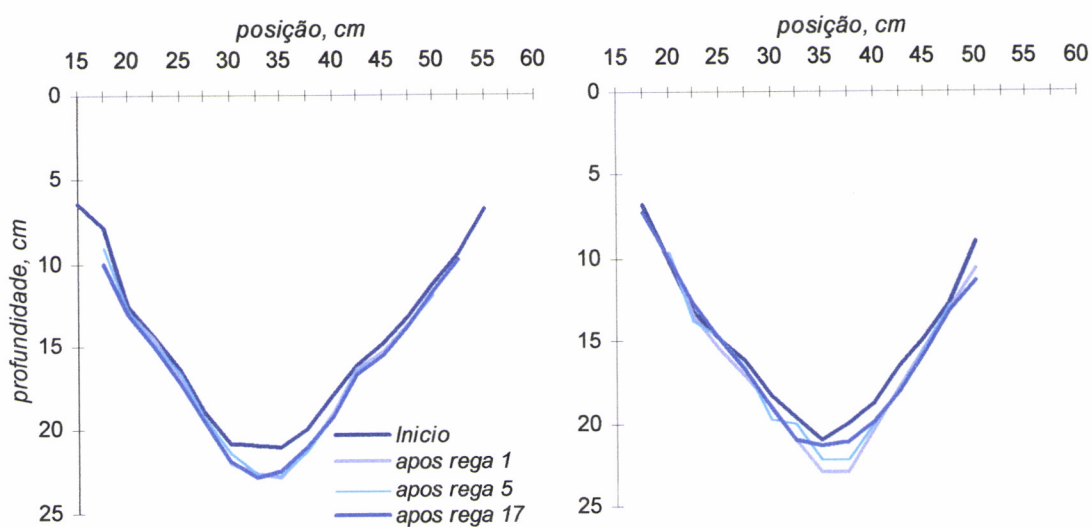


Figura 6.28 a) Esq. Evolução do perfil transversal do sulco M2 (1999) localizado aos 200 m.
b) Dir. Evolução do perfil transversal do sulco M2 (1999) localizado aos 80 m.

do sulco durante a primeira rega, acompanhada do seu alargamento, o que de certa forma corresponde à percepção generalizada do processo de erosão em sulcos. Esta evolução é típica dos locais onde por diversas razões há um aumento da velocidade de escoamento. A Figura 6.28b tipifica outros casos em que a erosão inicial do leito do sulco, provocada por uma primeira rega com um caudal inicial elevado (até $1,6 \text{ l s}^{-1}$), é seguida por um lento processo de deposição durante as regas seguintes realizadas com módulos parcelares menores (até $0,65 \text{ l s}^{-1}$). Assim, verifica-se que a localização relativa das zonas de destacamento - sedimentação é influenciada pelo caudal. Ou seja, módulos parcelares elevados provocam o destacamento e transporte de sedimentos numa extensão maior de sulco, e durante as regas seguintes com módulos menores, algumas dessas zonas de destacamento passam a funcionar como zonas de deposição.

Dada a diminuição gradual da profundidade e da velocidade do escoamento ao longo do sulco, resultado da infiltração de água, procurou-se estudar o padrão de evolução dos perfis de acordo com a sua distância à cabeceira. Para isso foram calculados os perfis médios (média de quatro sulcos, um de cada bloco) aos 20, 80, 140

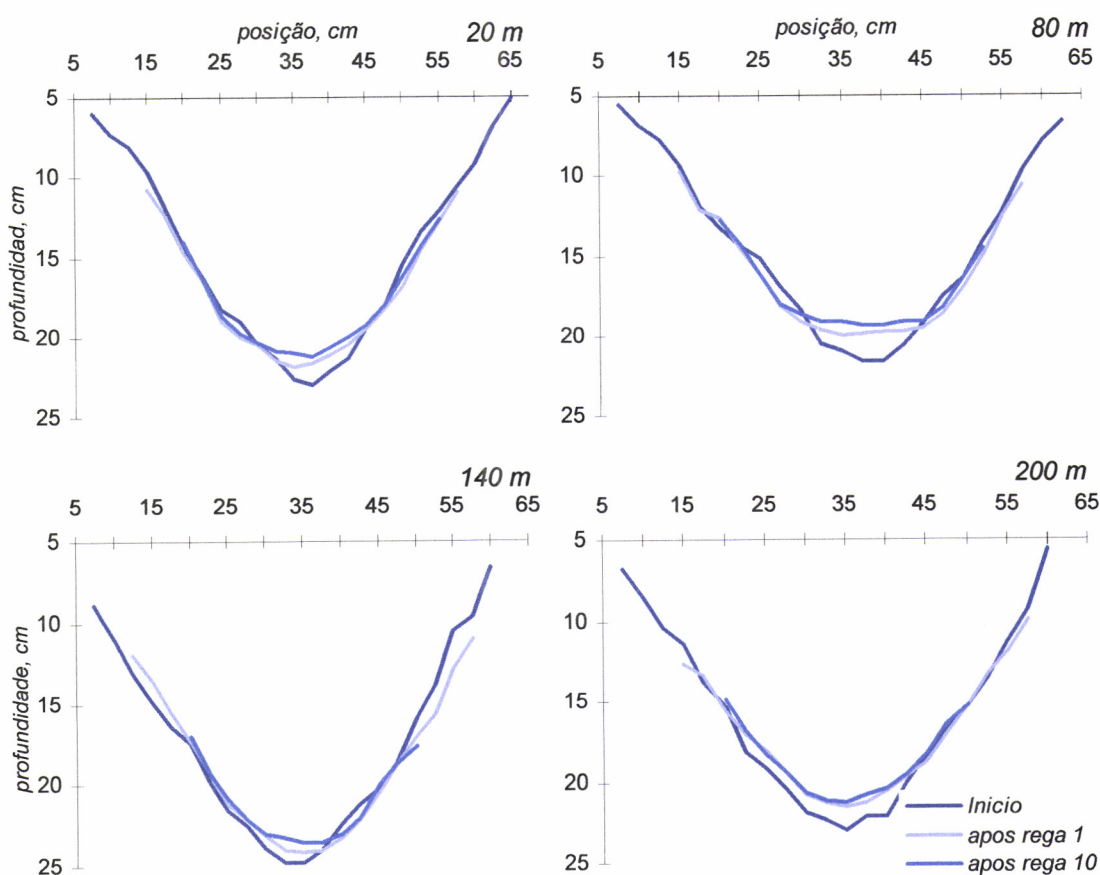


Figura 6.29 Evolução média dos perfis de quatro sulcos, aos 20, 80, 140 e 200 m, em 1998.

e 200 m da cabeceira, para 1998 e 1999 (Figs 6.29 e 6.30. Dados originais apresentados em Anexo 6.13). Verifica-se de uma forma geral que a evolução média consiste na deposição de sedimentos no fundo do sulco, produzindo um “achatamento” da sua forma parabólica inicial, e o alisamento da superfície do escoamento, com a necessária destruição dos agregados. Os sedimentos podem ter origem a montante e serem apenas depositados no local ou deverem-se principalmente a destacamento de partículas dos taludes, que caem para o interior do sulco sem serem sujeitos a um transporte significativo, causando o seu alargamento e “achatamento”. Observa-se que estes processos são geralmente mais intensos durante a primeira rega, quando os agregados de maiores dimensões deixados pelo derregador são destruídos devido à acção da água, dando lugar a uma superfície mais lisa, acompanhada normalmente da formação de crosta, evoluindo pouco os perfis nas regas seguintes.

Duma forma geral, a deposição de sedimentos é maior nos perfis da parte inicial do sulco (20 m e 80 m), o que se pode dever ao maior destacamento nas paredes do sulco provocado pela maior velocidade e profundidade de escoamento no troço inicial dos sulcos.

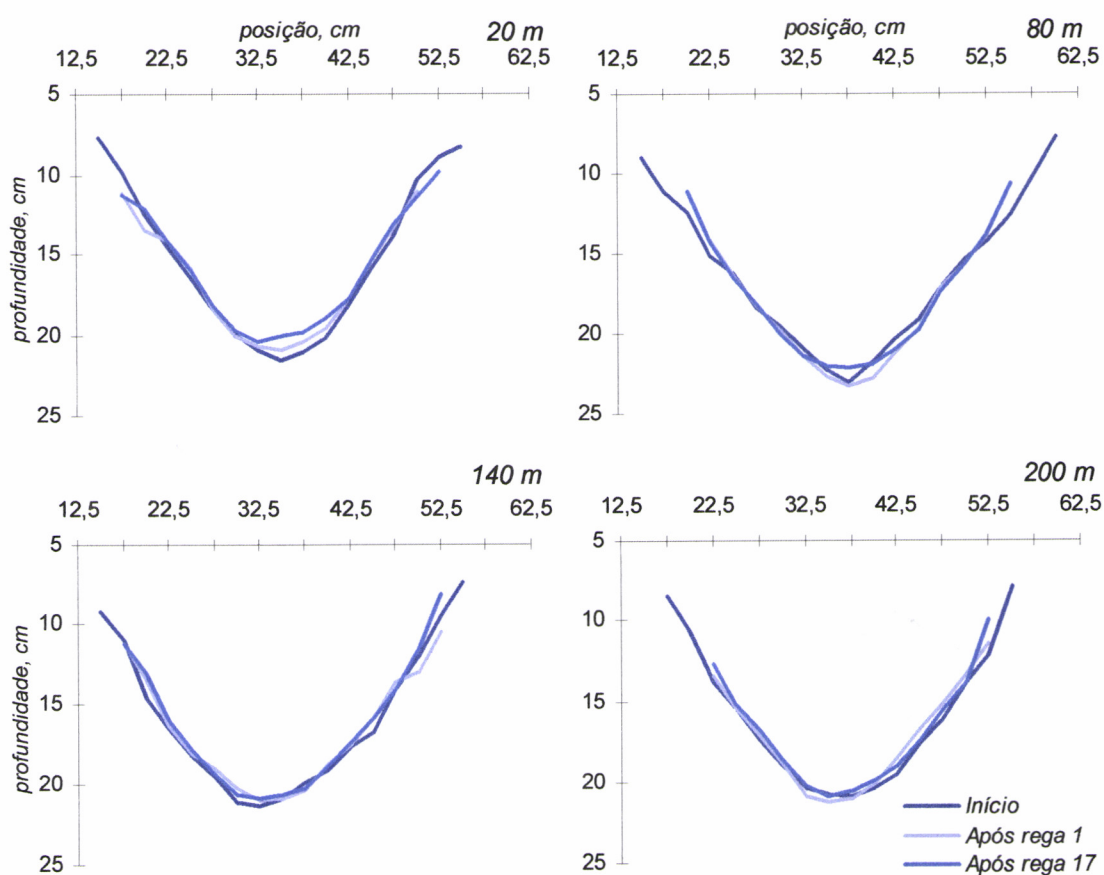


Figura 6.30 Evolução média dos perfis de quatro sulcos, aos 20, 80, 140 e 200 m, em 1999.

De modo a poder estudar a evolução global da geometria dos sulcos, foi obtido um perfil médio antes das regas, e outro perfil médio após 10 e 17 regas, respectivamente em 1998 e 1999, utilizando a média dos perfis de todos os sulcos (Fig. 6.31). Observa-se que a forma em V deixada pela alfaia aquando da abertura dos sulcos é, ao fim de várias regas, transformada numa forma parabólica mais aberta. Esta evolução resulta de uma ligeira erosão de poucos milímetros nos taludes e a deposição de sedimentos no fundo do sulco atingindo uma altura de cerca de 2,5 cm em 1998 e de perto de 1 cm em 1999. De realçar que esta variação na geometria transversal dos sulcos é menos significativa na campanha de rega de 1999, em que se aplicou poliacrilamida (PAM) na água de rega.

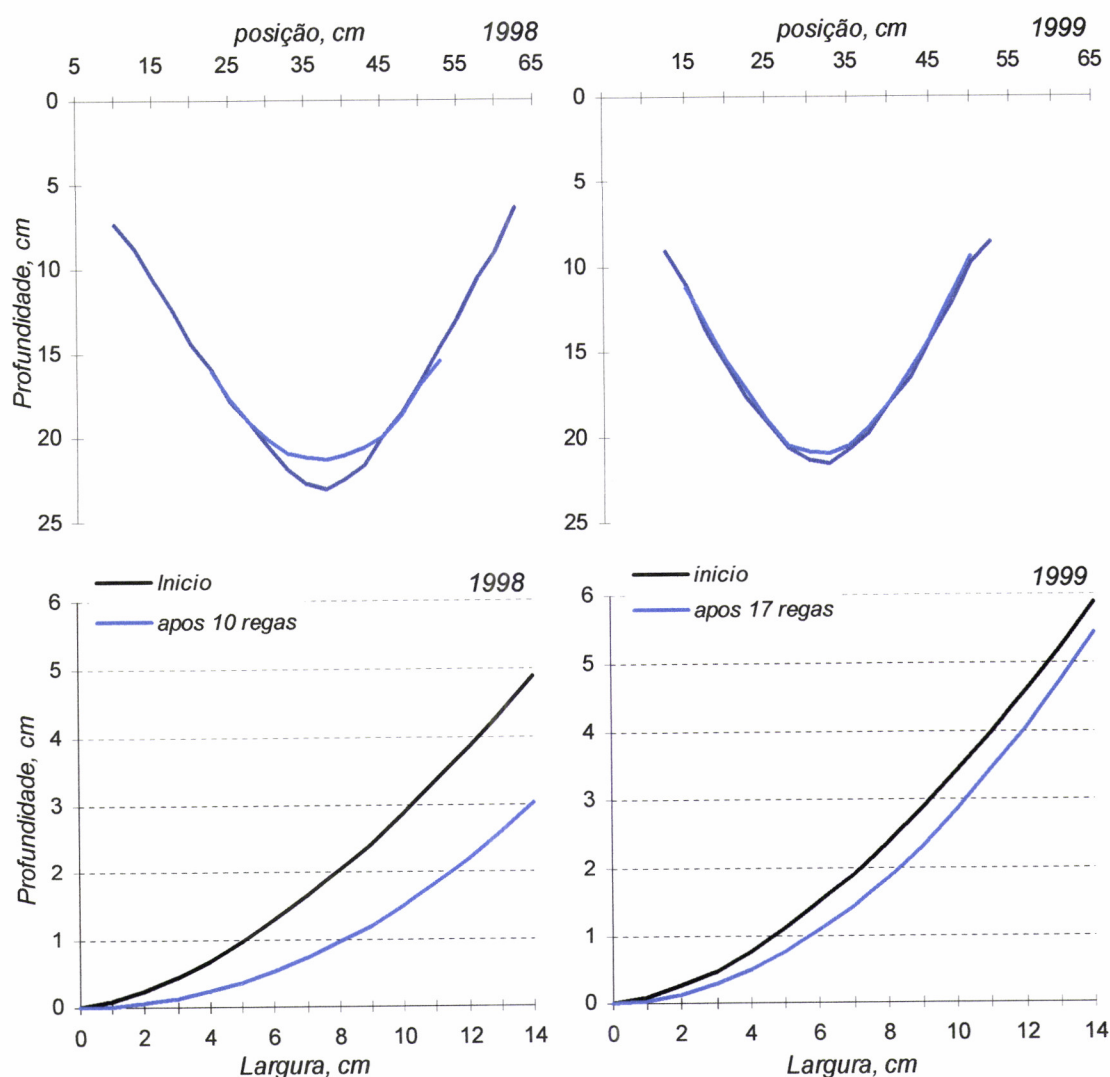


Figura 6.31 Evolução média de todos os perfis em 1998 e 1999. Verifica-se que, em ambos os anos, os perfis transversais tendem para um perfil de equilíbrio parabólico, com deposição de sedimentos no fundo do sulco e erosão das taludes. Em baixo, pode-se observar o alargamento dos sulcos com as regas.

Quadro 6.11 Transporte de sedimentos para fora do campo por unidade de área (kg ha^{-1}).
 Fonte: Martins et al. (2000a).

	1997	1999
Rega 1	377,42	0,00
Rega 2	229,01	3,84
Rega 3	161,48	8,53
Rega 4	22,60	15,37

O pequeno declive dos sulcos, associado às baixas velocidades de escoamento daí resultantes, limitam bastante a capacidade de transporte da água nos sulcos, provocando a deposição das partículas destacadas no fundo do sulco, próximo do seu local de origem. Esta observação é confirmada pelos valores de erosão medidos no fim dos sulcos dos blocos 1-3 por Martins *et al.* (2000a), apresentados no Quadro 6.11. Em 1997, o transporte total de sedimentos para fora do campo foi de $377,42 \text{ kg ha}^{-1}$ na primeira rega, diminuindo para $22,60 \text{ kg ha}^{-1}$ ao fim da quarta rega. Em 1999, a aplicação de 1 kg ha^{-1} de PAM na primeira rega provocou uma importante redução no destacamento e transporte de sedimentos. De facto, o transporte acumulado de sedimentos para fora do campo durante as primeiras quatro regas de 1999 é $27,74 \text{ kg ha}^{-1}$, ou seja, apenas 4% do observado em 1997. A baixa capacidade de transporte do escoamento nestes sulcos com declive de 0,2%, associada à aplicação de PAM, ajuda a explicar a evolução reduzida dos perfis transversais acompanhada da deposição de sedimentos no fundo dos mesmos.

A evolução da geometria transversal dos sulcos pode ter efeitos importantes sobre os parâmetros hidráulicos do escoamento. Em causa estão dois processos simultâneos: por um lado, a rugosidade é reduzida após as primeiras regas, o que aumenta a velocidade do escoamento; por outro, o próprio perfil pode adquirir um formato hidraulicamente mais favorável. Como já foi referido no ponto 6.1.5, em 1999 o coeficiente de rugosidade diminuiu de 0,065 na primeira rega para 0,045 na 9ª rega. O Coeficiente, α , e expoente, u , da equação da geometria do sulco (Eq. 4.1) evoluíram ligeiramente em 1998 no sentido de um perfil parabólico mais largo, e mantiveram-se praticamente constantes em 1999 (Quadro 6.12). Recorrendo à equação de velocidade do escoamento (Eq. 4.2), obtêm-se as curvas de velocidade de escoamento em função do caudal apresentadas na Figura 6.32. Observa-se que, efectivamente, a velocidade de

escoamento é pouco afectada pela evolução do perfil, existindo apenas uma ligeira redução da velocidade em 1998, ano em que a evolução do perfil foi mais acentuada.

Em termos práticos, pode-se concluir que, devido à pequena variação da velocidade de avanço com a evolução do perfil, não é necessário actualizar o perfil introduzido no programa CaboGest no início da campanha. Efectivamente, como o levantamento e a introdução da geometria transversal no programa poderá ser incómoda para o agricultor, é interessante verificar que a evolução dos parâmetros da geometria transversal ao longo da campanha não afecta significativamente a modelação do avanço. Da mesma forma, dado que os valores observados nos dois anos pouco alteraram a velocidade, é possível que se possa manter os valores introduzidos no primeiro ano, desde que as mobilizações sejam realizadas com as mesmas alfaías.

Quadro 6.12 Coeficientes e expoentes das equações da geometria do sulco e da velocidade de avanço nos anos 1998 e 1999, no início da campanha e após várias regas.

	1998		1999	
	<i>início</i>	<i>após 10 regas</i>	<i>início</i>	<i>após 17 regas</i>
a	0,169	0,244	0,167	0,161
u	2,138	2,393	2,089	2,084
$a^{2/(5u-2)}$	0,664	0,753	0,655	0,648
$-3u/(5u-2)$	-0,738	-0,720	-0,742	-0,743

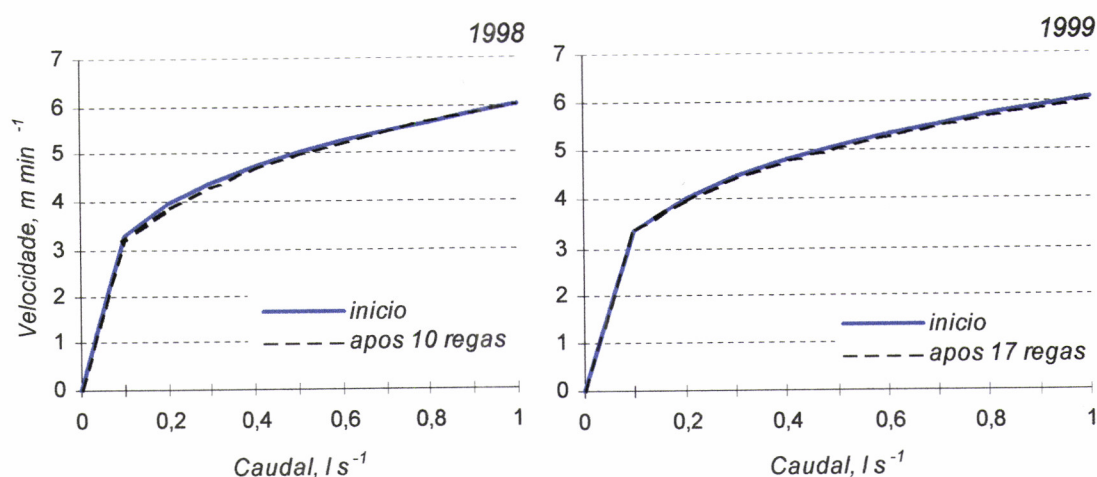


Figura 6.32 Comparação das velocidades de avanço determinadas para os quatro perfis médios. Foram considerados valores de $n = 0,04$ e declives de sulcos de $0,002 \text{ m m}^{-1}$.

6.5 Aperfeiçoamento do método CaboGest

Nesta secção serão apresentados e discutidos três conceitos de modelação de rega e da regulação da abertura de janelas que foram postos em prática e ensaiados em 1999 com o intuito de melhorar o método CaboGest, procurando maximizar as eficiências de aplicação obtidas.

A organização do terreno em blocos de contorno conduz muitas vezes á existência de alguns sulcos significativamente mais curtos intercalados no meio de outros com comprimentos maiores. O programa CaboGest procura ajustar o tempo de aplicação em cada sulco ao seu comprimento, o que funciona perfeitamente enquanto os comprimentos dos sulcos adjacentes são semelhantes ou apresentam uma variação gradual. No entanto, a gestão da rega pode ser imperfeita quando existem variações bruscas nos comprimentos, como sucede normalmente no fim dos blocos. Efectivamente, como o sistema rega simultaneamente um conjunto de sulcos, o avanço observado num determinado sulco é influenciado pelos tempos de aplicação nos sulcos imediatamente a jusante. Considerando por exemplo um sulco curto localizado antes de um conjunto de sulcos compridos, o referido sulco será sobre-regado quando o sistema regar os sulcos compridos.

Para a optimização da rega nestes locais com mudanças bruscas de comprimento dos sulcos, foram experimentadas duas soluções: A adaptação da abertura das janelas, e portanto dos módulos parcelares, aos comprimentos e a simulação inversa da rega, começando a modelação pelo último sulco.

Um terceiro estudo apresentado visa a possibilidade da melhor adaptação dos módulos parcelares à infiltrabilidade do solo através da diminuição gradual da abertura das janelas ao longo da campanha. Em 1999 houve apenas uma redução da abertura das janelas após a primeira rega, dos 43 mm para 23 mm, que foi mantida ao longo das trinta regas seguintes.

6.5.1 Simulação inversa da rega no campo

Como foi referido, a optimização do avanço em sulcos de comprimentos diferentes não é uma tarefa fácil quando o sistema rega simultaneamente um conjunto de sulcos, sendo os volumes aplicados em cada um influenciado pelos tempos calculados para os sulcos localizados a jusante.

Face ao exposto, existe todo o interesse em realizar a modelação do avanço nos sulcos tendo em conta a posição específica de cada sulco, e os tempos de aplicação dos sulcos adjacentes, obtendo-se assim uma gestão global da rega no campo. Para o efeito foi desenvolvida uma nova versão do programa CaboGest (versão 3i), capaz de simular a rega partindo do último sulco do campo para o primeiro, utilizando durante a simulação os tempos calculados para os sulcos a jusante (ver secção 4.3.1). Para experimentar a sua eficácia, a rega 27 foi realizada com este programa, enquanto que a rega 29, realizada sob condições semelhantes, serviu de testemunha (Quadro 6.13).

Os tempos calculados e utilizados pelo programa para o deslocamento do êmbolo em cada um dos orifícios estão apresentados na Figura 6.33. Para maior clareza estão

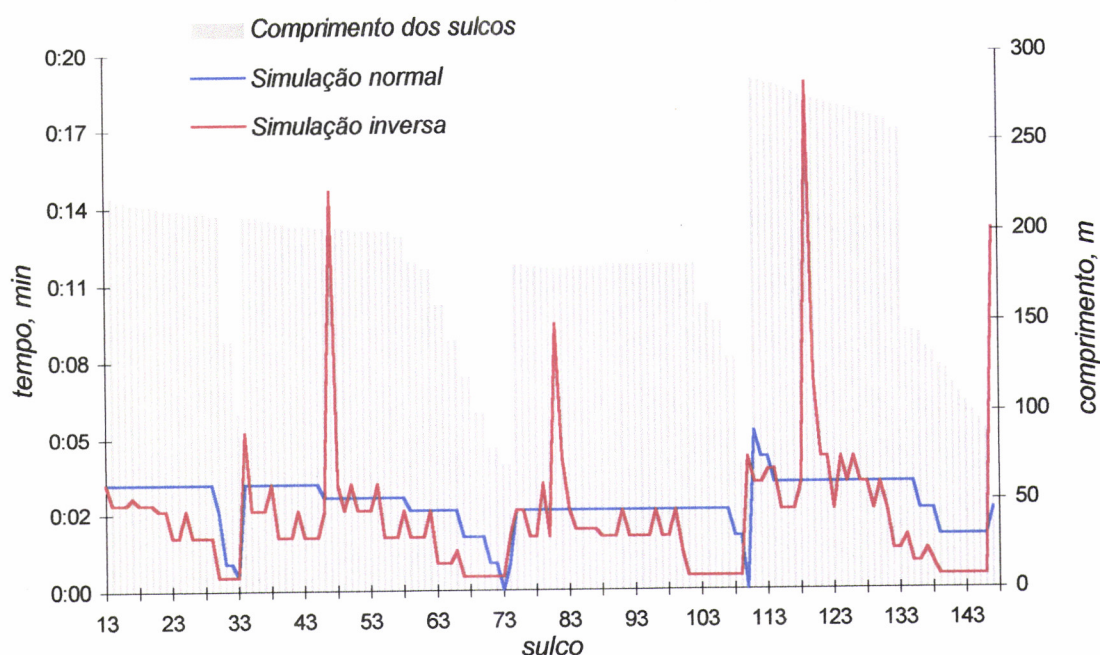


Figura 6.33 Tempos de deslocamento do êmbolo, **tinc** em min, calculados para cada sulco com a simulação normal (rega 29) e inversa (rega 27, utilizando a versão 3i).

Quadro 6.13 Resumo de algumas características das regas 27 e 29.

Rega	Eq. infiltração		Número blocos consid.	Duração rega hh:mm	Caudal total, $l\ min^{-1}$	Volume		Dotação útil, mm	EA %
	k	a				aplicado, l	exced., l		
27	2,22	0,256	4	7:17	600	262200	67893	8,4	74,1
29	2,22	0,256	4	8:30	600	306000	91745	9,2	70,0

também apresentados os comprimentos dos sulcos. Como na simulação normal o tempo de deslocamento do êmbolo ao longo dos vários orifícios é calculado apenas em função do avanço simulado para o sulco correspondente, verifica-se que os tempos calculados na rega 29 apresentam uma certa regularidade, acompanhando os comprimentos dos sulcos. No entanto, na simulação inversa, os tempos de deslocamento do êmbolo flutuam bastante, pois a simulação da rega considera os tempos já determinados para os sulcos a jusante regados simultaneamente. Verifica-se assim alguns picos nos tempos de aplicação, um dos quais tem 17 minutos, durante o qual o êmbolo permaneceu estacionário no sulco 119. Aparentemente, estas paragens são calculadas para regar os sulcos mais compridos quando a jusante destes se encontram grande número de sulcos mais curtos.

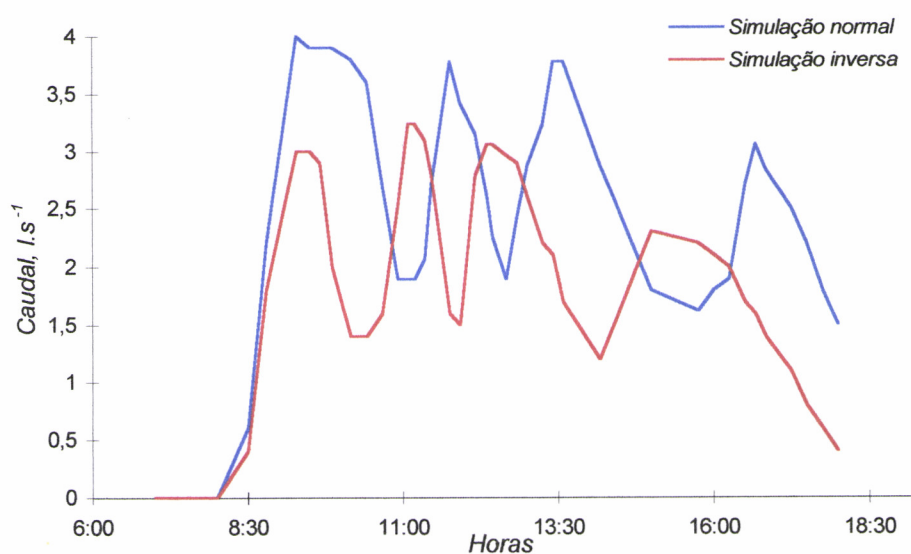


Figura 6.34 Caudais excedentes das regas 29 e 27, realizadas respectivamente com a simulação normal e inversa (Para maior clareza o início das duas regas foi sincronizado).

Outra diferença nítida entre as regas se evidencia nos sulcos pequenos do fim dos blocos onde, na simulação inversa, o facto de existirem sulcos compridos mais à frente é aproveitado para reduzir os tempos de aplicação.

Com a simulação inversa, a duração total da rega foi encurtada em cerca de 70 minutos (Quadro 6.13 e Figura 6.34), o que representa uma economia de cerca de 44 m³ de água (14% do volume aplicado), embora a dotação útil tenha diminuído apenas em 0,8 mm. O volume total de excedentes foi também reduzido, passando a Eficiência de aplicação global de 70 para 74%. Verifica-se assim que os resultados obtidos são bastante animadores.

Do ponto de vista crítico, convém referir que embora a simulação inversa seja mais perfeita em termos de utilização da água, é também mais susceptível a variações nos caudais debitados pelos orifícios, exigindo maior rigor no maneo do sistema. Isto porque existem sulcos (por exemplo sulcos 100-109) onde uma boa parte do avanço é realizado a contar com os pequenos caudais debitados pelos orifícios mais afastados do êmbolo, muito condicionados pela uniformidade do declive do tubo e da variação do caudal total.

Naturalmente, a simulação inversa será útil em campos organizados em terraços de largura variável onde se assiste a uma grande variabilidade nos comprimentos dos sulcos, pelo que em cada caso terá de se ponderar as vantagens e inconvenientes da utilização de um ou outro método.

6.5.2 Abertura variada de janelas

A organização do terreno em blocos de contorno conduz muitas vezes à existência de alguns sulcos mais curtos intercalados no meio de outros com comprimentos maiores. Embora o CaboGest aumente a velocidade do êmbolo ao passar por um sulco curto isolado, o resultado obtido não é muito eficaz, visto nos sulcos seguintes a velocidade do êmbolo voltar a ser reduzida.

Uma solução passa pelo ajustamento da abertura das janelas e portanto dos módulos parcelares ao comprimento destes sulcos. Ou seja, combinar a variação da velocidade do deslocamento do êmbolo realizado pelo CaboGest com a redução da abertura das janelas e portanto dos caudais aplicados nos sulcos mais curtos.

Recorrendo ao programa *Janelas.bas* (Anexo 6.14) desenvolvido especificamente para calcular os caudais debitados por janelas com aberturas diferentes, estudou-se o caso de existirem quatro sulcos curtos no meio de sulcos com comprimentos maiores, utilizando a solução de aberturas variáveis. A abertura equivalente utilizada para os sulcos mais curtos será de 15 mm, enquanto que a abertura dos restantes sulcos permanece nos 23 mm.

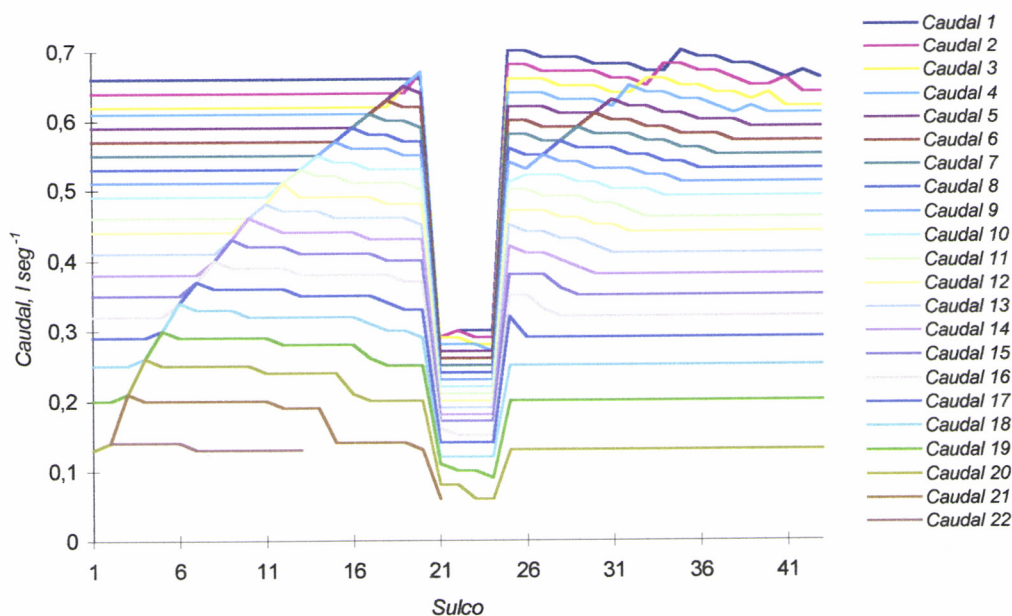


Figura 6.35 Evolução dos caudais debitados pelas janelas no caso de existência de quatro sulcos (sulcos 21-24) com abertura reduzida (Diâmetro equivalente de 15 mm contra os 23 mm). Verifica-se, que a redução do caudal nesses sulcos provoca o aumento do caudal debitado nos sulcos adjacentes.

Verifica-se através da referida simulação que, nos orifícios com abertura reduzida, o caudal máximo é reduzido de $0,65 \text{ l s}^{-1}$ para $0,3 \text{ l s}^{-1}$ e o volume total debitado por estas janelas é reduzido de 540 l para 250 l. Em contrapartida, os caudais dos orifícios adjacentes são ligeiramente aumentados, especialmente dos orifícios imediatamente a jusante (Fig. 6.35).

Por outro lado, quando o êmbolo passa pelo primeiro orifício com abertura reduzida, como o caudal debitado é pequeno, não há redução significativa da carga piezométrica no tubo e não há redução de caudal nos orifícios a montante. Assim, o número de orifícios debitando em simultâneo aumenta, aumentando o volume total debitado nos referidos sulcos a montante.

Este método de abertura variável das janelas foi posto em prática no campo em 1999, na rega 4. Para o efeito foi considerado que os sulcos do fim dos blocos com comprimento menor que 140 m, ou seja os sulcos 31-33 do bloco 1, 66-74 do bloco 2 e 107-110 do bloco 3 deveriam receber módulos parcelares menores. A abertura das janelas que debitam nestes sulcos foi reduzida para um diâmetro equivalente de 15 mm, mantendo-se a abertura das restantes janelas (23 mm). Os resultados obtidos são comparados com os da rega 8, utilizando aberturas normais, e estão apresentados na Figura 6.36 e no Anexo 6.15.

Verifica-se que na rega 8 os volumes totais aplicados nos sulcos curtos são fortemente influenciados pelos tempos de aplicação calculados para os sulcos compridos a jusante. O caso mais nítido é o sulco 72 com 80 m, localizado imediatamente antes de um conjunto de sulcos com 180 m. Apesar do êmbolo passar rapidamente por este orifício, o volume total efectivamente aplicado é maior do que, por exemplo, aquele aplicado no sulco 66 com 140 m de comprimento.

Na rega 4, a utilização de aberturas reduzidas nos sulcos mais curtos reduz a aplicação total da água nestes sulcos em 18%, conseguindo assim maior correspondência entre os volumes aplicados e os comprimentos dos sulcos. Assiste-se simultaneamente a uma transferência da água para os sulcos vizinhos (aumento dos caudais a montante em 21%, e a jusante em 19%), o que vem incrementar a infiltração nestes sulcos.

Em termos da presente organização do campo, o aumento dos volumes aplicados nos sulcos a montante não é particularmente benéfico, pois estes são já por si sulcos curtos e o volume aplicado a mais será provavelmente perdido. No entanto, será bastante benéfico para o avanço e a infiltração nos sulcos a jusante, que são os sulcos mais longos de cada bloco.

Apesar das vantagens da adaptação da dimensão de cada janela ao comprimento do respectivo sulco, a realização desta tarefa no campo, considerando que podem existir uma centena ou mais de janelas, não será uma tarefa muito apreciada pelos agricultores, não esquecendo que durante a campanha de rega pode ser necessário ajustar todas as aberturas uma ou mais vezes. Por outro lado, como já foi referido, parte da água poupada acaba em sulcos que também são curtos, reduzindo o interesse prático desta operação.

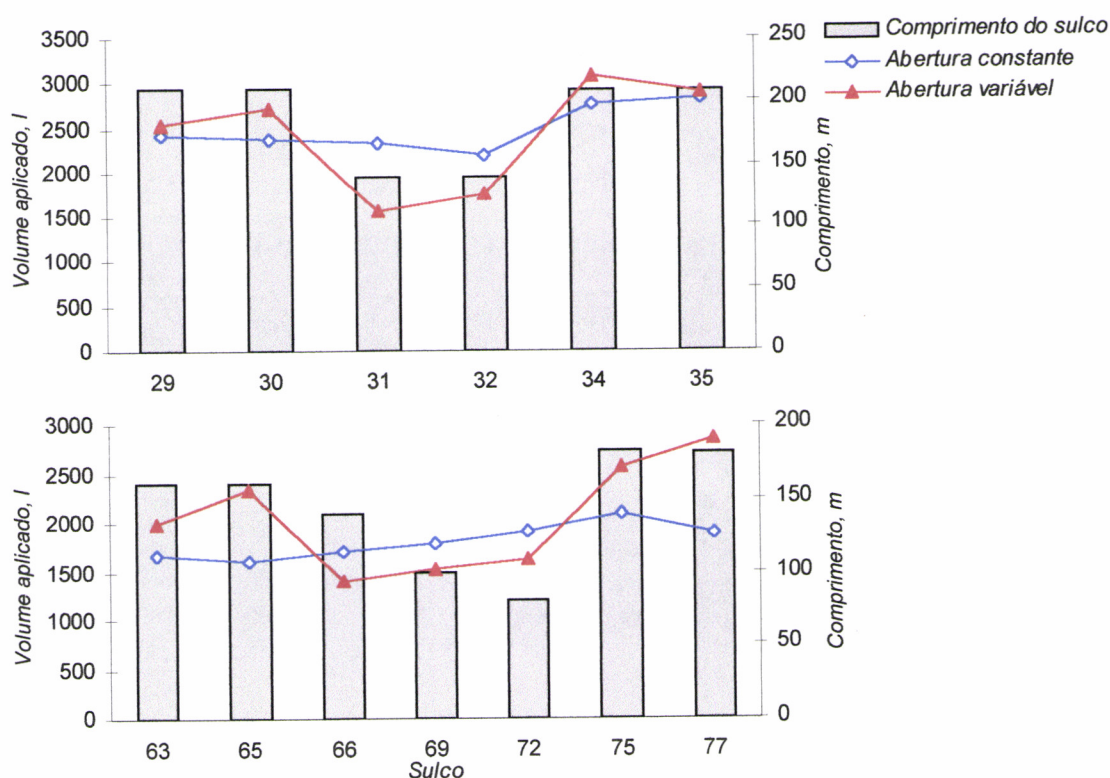


Figura 6.36 Efeito de abertura variada das janelas sobre os caudais debitados. Os volumes foram calculados a partir dos caudais e tempos de aplicação efectivamente observados nas regas 4 e 8, 1999.

6.5.3 Redução progressiva da abertura das janelas ao longo da campanha

Como já foi referido, o CaboGest ajusta os tempos de aplicação à infiltrabilidade do solo e aos comprimentos dos sulcos. No entanto, se os módulos parcelares não estiverem também ajustados à infiltrabilidade do solo, a eficiência da rega pode ser afectada em virtude de uma grande percentagem da água percorrer o comprimento do sulco sem infiltrar. Uma solução possível é recorrer a redução progressiva das aberturas das janelas para adaptar os módulos parcelares à infiltração.

Para estudar o efeito da abertura das janelas sobre o avanço, a infiltração e a Eficiência de aplicação, foram realizadas três regas utilizando aberturas diferentes (diâmetros equivalentes de 23, 18 e 15 mm, respectivamente nas regas 29, 21 e 23) perto do fim da época, numa altura em que a infiltrabilidade do solo tinha praticamente estabilizado. A redução da abertura das janelas para 15 mm implica menores módulos parcelares (Fig. 6.37) e o aumento do número de sulcos regados em simultâneo de 19 para 35, ficando o caudal total dividido sobre uma superfície infiltrante maior.

Constata-se através dos resultados apresentados no Quadro 6.14 que a velocidade de avanço média em todos os sulcos do campo diminui consideravelmente com o caudal, passando de $4,21 \text{ m min}^{-1}$ com uma abertura de 23 mm, para $2,57 \text{ m min}^{-1}$ quando a abertura passa para 15 mm. Como resultado de todo este processo, a dotação

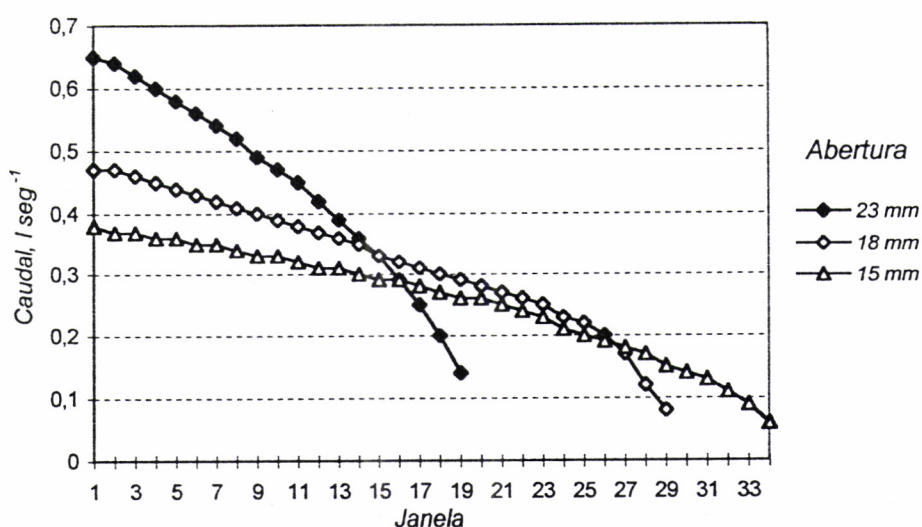


Figura 6.37 Os hidrogramas debitados pelos orifícios durante as regas 29, 21, e 23, com as aberturas equivalentes de 23 mm, 18 mm e 15 mm respectivamente.

média infiltrada é aumentada de 9,2 mm, com a abertura maior, para 12,8 mm, com a abertura de 15 mm, verificando-se, no entanto, que as equações de infiltração obtidas nas três regas são bastante semelhantes. A Eficiência de aplicação, *EA*, também se mantém praticamente inalterada apesar das diferenças nos tempos de aplicação e na superfície infiltrante.

Em 1999, a primeira rega foi realizada com uma abertura equivalente de 43 mm, sendo todas as restantes regas realizadas com uma abertura de 23 mm. Face aos resultados obtidos, pode-se concluir que, para as condições em que o solo se encontrava por volta da rega 20, a abertura das janelas devia ter sido 18 mm, ou mesmo 15 mm (em vez de 23 mm), permitindo a aplicação de dotações maiores, sem perda de eficiência. Verifica-se assim a conveniência da redução progressiva da abertura das janelas ao longo da campanha apesar de representar mais uma operação realizada manualmente.

Quadro 6.14 A influência da abertura das janelas sobre a velocidade média de avanço, a dotação útil e a Eficiência de aplicação.

Diâmetro equivalente, mm	Rega nº	nº sulcos regados simultan.	Eq. infiltração		Velocidade avanço, m min ⁻¹	Dotação útil *, mm	EA** %
			k l min ^{-a} m	a			
15	23	35	2,16	0,22	2,57	12,8	70,46
18	21	29	2,37	0,23	3,01	10,8	69,10
23	29	19	2,22	0,26	4,21	9,2	70,02

* Dotação útil calculada a partir do produto dos caudais admitidos em todos os sulcos dos blocos 1-4 pela EA global da rega.

** EA global do campo, calculado a partir dos caudais totais admitidos e excedentes do campo.

6.6 Produções obtidas

No último ano de ensaios (1999), o equipamento de rega já se encontrava num estado de evolução aceitável, tendo-se conseguido uma boa condução do ensaio com produções acima da média obtida em solos Argiluvitados.

Foram obtidas produções médias de 14,1, 11,6, 13,3 e 9,2 t ha⁻¹ respectivamente nos blocos 1, 2, 3, e 4, enquanto que a média do campo foi 12,0 t ha⁻¹ (Quadro 6.15). Não existe nenhuma razão aparente, baseada nas regas, para as grandes diferenças de produtividade observadas entre os blocos. Ao longo dos sulcos também se observa uma variação da produção média, variando de 12,8, 13,6, 11,8, e 10,4 t ha⁻¹ respectivamente aos 20, 80, 140 e 200 m. Fazendo uma analogia com o Coeficiente de uniformidade de Christiansen, verifica-se que a uniformidade ao longo de todo o campo foi 91,4%. Ao contrário do que seria de esperar, a produção mais elevada não se observa no início do campo, mas aos 80 m, o que se prende com o perfil longitudinal dos sulcos, existindo em alguns blocos uma zona ligeiramente mais alta aos 90 m, provocando o aumento da profundidade de escoamento a montante. Devido à prática de fertirrega, e dada a infiltrabilidade reduzida destes solos, a produção aos 80 m terá certamente sido favorecida por uma maior infiltração.

Quadro 6.15 Produção de grão comercial (14,5% de humidade) em 1999.

	Produção de grão seco (kg ha ⁻¹)					média bloco
	20 m	80 m	140 m	200 m	260 m	
Bloco 1	13972	14092	13628	14602		14074
Bloco 2	12965	11942	11343	9019		11556
Bloco 3	12602	17502	12729	10437		13317
Bloco 4	11525	11372	9539	7525	5964	9185
Média posição	12781	13590	11810	10396	5964	12033

6.7 Breve estudo económico

6.7.1 Economia de mão-de-obra

Para além do custo, a facilidade de utilização, fiabilidade e o tempo despendido na realização das regas são factores essenciais para a aceitação dum sistema de rega pelos agricultores. As economias em termos de custos de equipamento e de bombagem da água podem ser ilusórios se em contrapartida houver grandes despesas com a mão-de-obra e preocupações com o funcionamento do sistema.

Num sistema de cabo-rega convencional são despendidos, para a realização de cada rega, pelo menos 165 minutos, sendo necessário buscar o êmbolo, enrolar o cabo, iniciar a rega, regularizar a velocidade de deslocamento do êmbolo, verificar o bom funcionamento do sistema e no fim desligar o sistema (Figura 6.38 e Quadro 6.16). A realização destas tarefas implica a deslocação à parcela no início, no fim e uma ou duas vezes no decorrer da rega, o que poderá por si só representar várias horas a acrescentar ao tempo efectivamente utilizado junto do sistema.

Com o sistema CaboGest, a tarefa mais demorada e difícil, ou seja, a regularização da velocidade do deslocamento do êmbolo de acordo com as condições do campo é automatizada. Por outro lado, todo o mecanismo de deslocamento do êmbolo é mais fiável, reduzindo substancialmente a atenção exigida ao agricultor. Com um sistema deste tipo, dotado de relógio temporizador para o corte da água, são necessários um total de 45 minutos para iniciar a rega, não havendo efectivamente a necessidade de verificação do seu bom funcionamento no decurso da rega. O número de viagens até ao campo fica reduzido a um, visto o corte da rega ser também realizado sem intervenção humana. Se automatizar a re-bobinagem do cabo, instalando um sistema com êmbolo auto-solta, poupam-se mais 15 minutos, aliviando o agricultor da tarefa de ter de enrolar o cabo manualmente.

No entanto, talvez mais importante do que toda a poupança de tempo e de água que se possa alcançar com estes sistemas automatizados, a vantagem principal reside na facilidade de utilização e a fiabilidade oferecida pelo conjunto. Uma vez em funcionamento, o sistema CaboGest oferece uma precisão razoável na abertura das

janelas e adaptação da dotação às condições do campo, automatizando também o fim da rega, não necessitando de mais atenção por parte do operador.

6.7.2 Custos de investimento e de operação

A grande vantagem dos sistemas de rega de superfície reside por um lado em um investimento inicial mínimo, por outro em custos de operação reduzidos por dispensarem a bombagem de água. A automação introduzida neste trabalho terá naturalmente custos que se irão repercutir no investimento inicial, pelo que se deve averiguar se se justificam perante a mais valia em termos de comodidade e economia de mão-de-obra obtidos.

Um dos componentes mais caros de qualquer sistema cabo-rega é o tubo janelado, podendo o seu custo variar entre os 433 Euros por hectare para um campo com sulcos de 250 m utilizando tubo de 160 mm de diâmetro e 1172 Euros por hectare

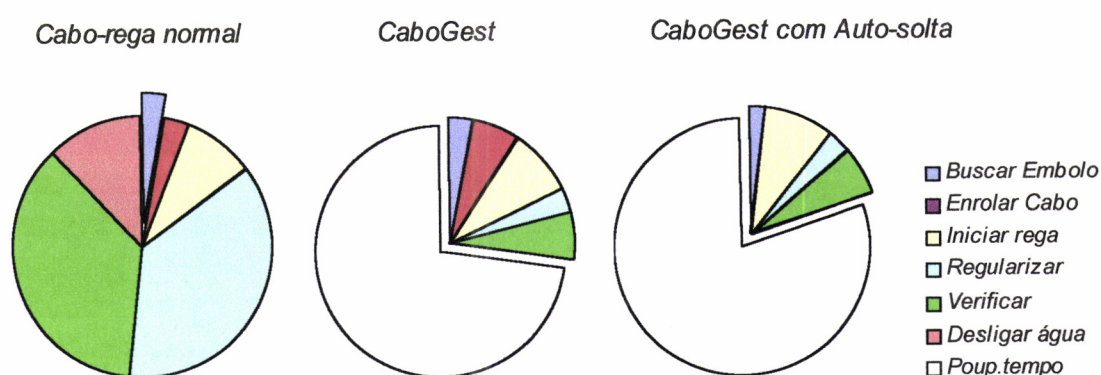


Figura 6.38 Poupança de tempo conseguido com a utilização de sistemas CaboGest (total= 165 minutos), excluindo os deslocamentos ao campo (três vezes para o cabo-rega normal e uma vez para os sistemas CaboGest).

Quadro 6.16 Tempo despendido por rega com as diversas operações necessários ao funcionamento de vários sistemas cabo-rega, em minutos.

	Cabo-rega normal	CaboGest	CaboGest c/Auto-solta
Buscar embolo	5	5	3
Enrolar cabo	5	10	-
Iniciar rega	15	15	15
Regularizar	60	5	5
Verificar	60	10	10
Desligar água	20	-	-
Total	165	45	33
Poupança de tempo		89	104
Deslocações ao campo	mínimo 3	1 a 2	1 a 2

para um campo com sulcos de 120 m utilizando o tubo de 200 mm de diâmetro. A caixa do cabo-rega produzida em fibra de vidro é também um componente caro, cujo preço ronda os 500 Euros.

Os sistemas cabo-rega propostos no presente trabalho têm custos que devem ser acrescentados aos já referidos. No Quadro 6.17 estão apresentados os custos de produção dos quatro tipos de controladores desenvolvidos. Verifica-se que o seu preço varia entre os 441 Euros para o controlador simples a 220 V e 1888 Euros para o controlador CaboGest solar. Mesmo no caso do sistema mais caro, o controlador representa apenas 31% do custo total do equipamento de rega. Deve ser referido que estes valores foram calculados a partir de componentes adquiridos isoladamente ao preço de venda ao público, existindo naturalmente economia de escala quando os controladores forem produzidos em quantidade.

O Quadro 6.18 compara os custos de operação do CaboGest solar com os outros sistemas de rega normalmente utilizados num campo de 4 ha: gota-a-gota com fita e com tubo, cobertura total e canhão. No mesmo Quadro estão contemplados os custos de instalação que incluem o nivelamento, a estação de bombagem e o equipamento da rega.

Quadro 6.17 Custos de investimento, em Euros, dos sistemas cabo-rega (campo c/ 4 ha).

	CaboGest		CaboMatic	
	Eléctrico	Solar	Eléctrico	Solar
1- Controlador da rega				
Caixa	63,9	25,6	25,6	25,6
Baterais 12V, 12A	-	36,2	-	72,5
Paineis foto-voltaicos	-	95,9	-	191,8
Regulador de voltagem	-	25,6	-	25,6
Computador	170,5	874,0	-	-
Variador de velocidade	-	-	159,9	42,6
Motor e redutores	362,4	294,2	191,8	294,2
2 Sensores de avanço	106,6	106,6	-	-
Opção: Arranque autom. rega	-	-	-	-
Relógio temporizador	32,0	32,0	-	-
Relés diversos	42,6	34,1	-	-
Opção: Sistema de protecção	-	-	-	-
Detectores de sobre-tensão	25,6	25,6	-	-
Opção: Sistema de rebobinagem auto	-	-	-	-
êmbolo auto-solta	63,9	63,9	-	-
Total	867,6	1613,6	377,3	652,3
Custo por hectare	216,9	403,4	94,3	163,1
2- Restante equipamento, por ha.				
Tubo 200mm (sulcos 250m)	564,6	564,6	564,6	564,6
Caixa	124,7	124,7	124,7	124,7
Custo total por hectare	906,2	1092,7	783,7	852,4

As qualidades de rega apresentadas no presente trabalho só são possíveis após uma organização cuidada do terreno, pelo que nos sistemas cabo-rega são também consideradas as despesas relativas à um corte médio de 5 cm em toda a parcela. Os custos anuais incluem a amortização do equipamento, bombagem, e mão-de-obra necessária para a colocação/recolha dos tubos e a condução da rega. Constata-se que efectivamente os sistemas mais caros a operar são o canhão, cobertura total e a gota-a-gota com fita, enquanto que os mais económicos são os sistemas de rega de superfície e a gota-a-gota com tubo. Verifica-se que apesar do sistema CaboGest implicar um investimento inicial superior ao cabo-rega normal, acaba por representar uma poupança anual de cerca de 50 Euros ha⁻¹, através da redução da necessidade de supervisão das regas. Em comparação com o canhão, cobertura total e gota-a-gota com tubo, as poupanças anuais por hectare são, respectivamente, 435, 351 e 181 Euros.

Quadro 6.18 Custos por hectare com vários sistemas de rega a título comparativo, considerando um campo de 4 ha. Valores em Euros.

	Custo instalação (4 ha)			Custo anual por ha					
	nivelam.	bomba	equipam.	total	amortiz.	bomba-	mão-de-obra	total	
	filtro	rega			equipam	gem	colocação	regas	
CaboGest solar	2245 ¹		4371	6616	165		23 ^{7 8}	47 ¹⁰	236
Cabo-rega normal	2245 ¹		2757	5002	125		23 ^{7 8}	140 ¹⁰	289
Canhão		3990 ²	7482 ²	11472	287	150 ⁶		234 ¹¹	670
Cobertura total		7482	11472 ⁴	18954	474	112 ⁵			586
Gota-a-gota c/ fita		4873 ³	1596 ⁵	6469	521	22 ⁶	47 ^{8 9}		590
Gota-a-gota c/ tubo		4873 ³	10909 ⁵	15782	395	22 ⁶			417

Notas:

Considera-se uma vida útil de 10 anos para todos os equipamentos, excepto 1 ano para a fita.

Considera-se água disponível a superfície, sem custos, e que a cultura do milho necessita de 5000m³ por ano

Consideram-se 20 regas por campanha

¹ Considera-se um corte médio de 5 cm (500 m³ ha⁻¹), ao preço de 1,12 Euro m⁻³

² Canhão 63/300, de 8580 Euros, com bomba de 20CV, de 2494 Euros.

Sistema de alimentação com 4 hidrantes, 1496 Euros

³ Cabeçal constituído por electrobomba, 2 filtros de rede, 1 de areia, dosatron, programador, seis electroválvula:

⁴ Cobertura total enterrada, custando 4739 Euros ha⁻¹.

⁵ Tubo gota-a-gota a 0,40 Euro por metro, fita 0,06 Euro por metro, 1,5 m de entrelinha

⁶ Preço médio considerado para a energia 0,07 Euro kw⁻¹

⁷ Colocação e arrumação do tubo cabo-rega (duas vezes por campanha)

⁸ Preço de mão-de-obra por hora 4,68 Euro

⁹ Colocação da fita, utilizando um tractor

¹⁰ Consideraram-se 2 horas de mão-de-obra por rega com CaboGest, 6 horas com o cabo-rega normal, considerando que cada deslocação ao campo representa cerca de uma hora de trabalho.

¹¹ Inclui despesas de deslocação e tempo oportunidade do tractor.

Capítulo VII

Conclusões e perspectivas de investigação futura



7 Conclusões e perspectivas de investigação futura

7.1 Conclusões

Foram desenvolvidos no presente trabalho quatro controladores electrónicos para sistemas cabo-rega, que podem ser classificados em duas categorias: sistemas de controlo simples, denominados CaboMatic, onde é o próprio agricultor que determina a velocidade do deslocamento do êmbolo, e sistemas de controlo inteligentes, tipo CaboGest, onde o controlador procura adaptar o deslocamento do êmbolo ao formato do terreno e às condições de infiltrabilidade do solo, utilizando para o efeito a equação da infiltração determinada em tempo real. Dentro de cada categoria foram produzidos sistemas funcionando a corrente alterna monofásica e sistemas utilizando energia solar. Para simplificar o equipamento CaboGest, o êmbolo deixou de ter um movimento contínuo, passando a ser movimentado rapidamente até abrir um orifício, parando até chegar a hora de abrir o orifício seguinte.

Foi paralelamente desenvolvido um conjunto de equipamento necessário à maior automação e melhor funcionamento do sistema, incluindo um êmbolo auto-solta, sensores de avanço via rádio, e mecanismos que permitem o arranque e paragem automática da rega. Foi também desenvolvido equipamento de segurança necessário à protecção do motor.

O programa de gestão de rega sofreu diversas melhorias ao nível do algoritmo de cálculo e gestão global da rega. Foram acrescentadas rotinas de controlo da rega, e uma melhor interface com o operador. Foi adicionada a possibilidade da rega continuar depois de uma falha de corrente, através do armazenamento e recolha automática dos dados da rega.

Para poder modelar com mais rigor os avanços nos sulcos, foi desenvolvida a versão 3i do programa, capaz de simular a rega partindo do último sulco do campo para

o primeiro. Nesta versão, aquando da simulação do avanço num determinado sulco, o programa já possui e utiliza os tempos de aplicação nos sulcos a jusante que irão influenciar a rega no referido sulco, tendo-se conseguido assim aumentar a eficiência do uso da água em 4 pontos percentuais.

De modo a melhor adaptar a rega às variações na infiltrabilidade ao longo do campo, foi acrescentada a rotina de verificação da evolução da rega em pontos múltiplos, criteriosamente seleccionados no campo. Para o efeito, devem ser instalados sensores de avanço em vários sulcos controlando permitindo ao programa ajustar melhor os tempos de avanço simulados aos observados.

Ao longo de 3 anos foram realizadas 82 regas, das quais se controlaram 43. A grande maioria das regas prolongaram-se pela noite fora, sem supervisão, não se tendo verificado problemas significativos ao nível de funcionamento do equipamento.

Utilizando os tempos realmente observados em 849 avanços individuais verifica-se que as diferenças entre os avanços simulados pelo CaboGest e os realmente observados apresentam uma média de 2 minutos e um desvio padrão de 10,7 minutos, o que pode ser considerado satisfatório dadas as dimensões e condições do campo.

Adaptação à infiltrabilidade do solo

Observa-se uma progressiva redução da permeabilidade e aumento da velocidade do avanço ao longo das regas, o que se deve principalmente à formação de crosta e ao alisamento da superfície dos sulcos. A diminuição da infiltrabilidade é mais acentuada na primeira rega, seguido-se reduções gradualmente menos significativas ao longo das quatro ou cinco regas seguintes. Apesar das diferenças nos trabalhos de mobilização realizados em cada ano, os parâmetros da equação de Kostiakov tendem assintoticamente para valores que podem ser considerados como característicos do solo. O coeficiente da equação, k , diminui rapidamente nas primeiras regas e tende para um valor próximo de $2 \text{ l min}^{-a} \text{ m}^{-1}$, enquanto que o expoente da equação, a , aumenta ao longo das regas, aproximando-se de 0,3.

Por outro lado, o teor inicial de água no solo influencia a infiltrabilidade, constatando-se que a dotação efectivamente infiltrada durante a rega varia inversamente com o teor de água no solo.

O CaboGest adaptou a duração das regas e a dotação aplicada à infiltrabilidade do solo, reduzindo em 1999 a dotação recomendada de 12,4 mm no início da campanha para 4,4 mm nas últimas regas, encurtando a duração total da rega de 30:20 horas para 10:05 horas. Ficou demonstrada a necessidade do controlo em tempo real das condições da infiltrabilidade neste tipo de solos para a optimização da qualidade da rega.

Qualidade das regas realizadas

Verifica-se que a Uniformidade de distribuição é de 0,87 na primeira rega de 1998, mas desce ao longo da campanha, atingindo o valor de 0,78 na 11ª rega. Seguindo um padrão semelhante, o Coeficiente de uniformidade de Christiansen é bastante elevado na primeira rega (0,94), baixando para 0,83 na 11ª rega, existindo assim uma diminuição da uniformidade ao longo da campanha de rega. Em 1999, a *UD* varia entre os 72% na segunda rega e os 87% na nona rega, enquanto que o *Cu* de Christiansen varia entre os 84% também na segunda rega e os 90% na 17ª rega, não se encontrando nenhum padrão nítido de evolução da uniformidade em 1999.

A Eficiência de aplicação diminuiu progressivamente ao longo da campanha, descendo de 77% para 66% em 1998 e de 84% para 70% em 1999, como resultado directo da diminuição da infiltrabilidade do solo.

O programa CaboGest ajusta os tempos de aplicação à infiltrabilidade. No entanto, se os módulos parcelares também não estiverem ajustados, uma percentagem crescente da água percorre os sulcos sem infiltrar, prejudicando a eficiência da rega. Assim, a diminuição da infiltrabilidade do solo ao longo da campanha deve necessariamente ser acompanhada pela redução dos módulos parcelares. Em 1999 a abertura das janelas foi reduzida uma vez após a primeira rega para contrabalançar a redução da infiltrabilidade. No entanto, os ensaios realizados permitem concluir que terá havido todo o interesse numa segunda redução da abertura das janelas algum tempo após a 15ª rega, obtendo-se assim módulos parcelares compreendidos entre $0,08 \text{ l s}^{-1}$ e $0,5 \text{ l s}^{-1}$.

Efeito do módulo parcelar sobre a infiltração

Através de ensaios realizados com módulos parcelares diferentes, constata-se que os parâmetros da equação da infiltração determinados através do método dos dois pontos não são influenciados significativamente pelo módulo parcelar utilizado, pelo que a equação obtida com um determinado caudal pode ser utilizada eficazmente com qualquer outro.

No entanto, constata-se que a infiltração efectiva no sulco aumenta linearmente com o módulo parcelar e com a superfície submersa, podendo-se utilizar a relação pm/pm_0 para calcular a infiltração com um dado módulo parcelar.

Coefficiente de rugosidade de Manning

Os valores do coeficiente de rugosidade inicialmente elevados (0,06 em 1998 e 0,065 em 1999) diminuem gradualmente com as regas, atingindo um valor próximo de 0,04. A partir dessa altura surgem aparentemente outros factores que influenciam a rugosidade tais como o crescimento de infestantes no sulco, assistindo-se a flutuações do valor do n .

Constata-se que no caso de sulcos, o valor do n determinado através da equação de Manning é afectado pela magnitude do escoamento, pois à medida que diminui o módulo parcelar, há um aumento do valor do n obtido, o que não representa necessariamente uma alteração real das propriedades da superfície do solo.

Crítérios para a determinação da equação da infiltração

Verificou-se analiticamente, através de estudo de 15 diferentes pares de locais de medição ao longo de um sulco de 220 m, que embora os parâmetros da equação da infiltração sejam normalmente considerados característicos do solo, não deixam de ser afectados pelo comprimento dos troços considerados, diminuindo o k significativamente com o aumento das distâncias consideradas. Face ao exposto, é conveniente que o sulco utilizado pelo CaboGest para a determinação da equação de infiltração tenha um comprimento representativo dos restantes sulcos do campo.

Constatou-se que a posição relativa do primeiro ponto, *lm*, também afecta os resultados obtidos. Recomenda-se assim, que este esteja o mais próximo do meia distância entre a cabeceira e o segundo ponto, *lf*, e que para efeitos de estudos de infiltrabilidade os comprimentos dos troços sejam padronizados.

De qualquer forma, a determinação da equação da infiltração deve seguir critérios muito rigorosos e quando se utiliza o método dos dois pontos, devem também ser indicadas as condições de rugosidade e teor de água do solo nas quais os parâmetros foram determinados, sob pena dos resultados não serem reproduzíveis.

Solos Argiluvitados

Os resultados obtidos indicam que apesar das características particulares dos solos Argiluvitados, a sua baixa infiltrabilidade pode ser aproveitada vantajosamente na rega de superfície. De facto, a sua taxa da infiltração reduzida permite, por um lado, regar sulcos bastante compridos, aumentando assim a área potencial de cada parcela de rega, e por outro, contribui para avanços rápidos, aumentando a uniformidade da rega. A camada imperme localizada no horizonte B, ao não permitir a passagem de água para zonas subjacentes, reduz a possibilidade de percolação profunda, maximizando a Eficiência de aplicação.

Organização do campo

Em termos práticos, e dado o método de funcionamento do cabo-rega, verifica-se que efectivamente é muito difícil optimizar a rega nos poucos sulcos curtos localizados entre os sulcos compridos de blocos adjacentes. Não sendo de todo impossível, como ficou demonstrado no presente trabalho, necessita de técnicas especiais, tais como a adaptação das aberturas dos orifícios aos comprimentos dos sulcos.

A melhor solução será, sempre que possível, o recurso a terraços de largura constante, evitando completamente a presença de sulcos pequenos no intervalo entre os terraços.

Evolução da geometria transversal dos sulcos

O pequeno declive dos sulcos, resultando em baixas velocidades de escoamento, limita a capacidade de transporte do mesmo, assistindo-se ao destacamento das partículas terrosas dos taludes e a sua deposição generalizada no fundo do sulco, muito próximo do seu local de origem. Nestes solos com uma estrutura fraca, e devido à acção do escoamento, o perfil transversal tende rapidamente para um perfil de equilíbrio parabólico, alcançando a sua forma definitiva praticamente após a primeira rega.

Assim, constata-se que o perfil de equilíbrio varia pouco ao longo do ano e de um ano para o outro, sendo a simulação do escoamento pouco afectada pela sua evolução, não havendo necessidade da actualização anual dos parâmetros da geometria média dos sulcos introduzidos no CaboGest.

Custos

Os preços dos controladores desenvolvidos no presente trabalho variam entre os 441 Euros e os 1888 Euros para o CaboGest solar. Efectivamente a parcela maior da despesa de instalação continua a ser a tubagem e a caixa receptora, que tem um custo por hectare de 688 Euros (campo de 4 ha, com sulcos de 250 m). Uma parte do preço do tubo deve-se ao componente tecnológico, pelo que é de esperar alguma economia de escala com o aumento da procura.

Em termos de mão-de-obra, o sistema CaboGest permite uma economia de cerca de 100 minutos na realização de cada rega, minimizando simultaneamente o número de deslocações ao campo. Em termos de custos anuais de operação, o sistema CaboGest permite uma poupança de cerca de 50 Euros por ha relativamente ao cabo-rega normal e de 435 Euros por ha comparativamente ao canhão. No entanto, o maior benefício do sistema é a sua fiabilidade e automação, que permitem dispensar por completo a supervisão da evolução da rega.

7.2 Perspectivas de investigação futura

No presente trabalho foram desenvolvidos vários sistemas de rega de superfície com cabo-rega, com dois níveis de automação. Baseado nestas plataformas será agora possível, para esta ou outras equipas científicas, aperfeiçoar o sistema de modo a proporcionar maior automação, fiabilidade e melhores qualidades da rega.

Longe de poder pensar-se que o presente trabalho pretendeu esgotar os objectivos propostos, deve ser visto antes como mais um passo no desenvolvimento e utilização das novas tecnologias para a automação da rega de superfície. O ideal de um sistema de rega totalmente automatizado, expresso por inúmeros autores, só será efectivamente alcançado quando os próprios agricultores abraçarem as propostas feitas pela investigação, e os enriquecerem com a sua experiência. Entretanto, podem ser contemplados os passos seguintes no desenvolvimento destes sistemas.

Um avanço significativo para o cabo-rega seria o desenvolvimento de um êmbolo com movimento bi-direccional, que após a rega, pudesse regressar no interior do tubo à cabeceira do campo. Este desenvolvimento importantíssimo, e de certa forma vital para a adaptação em larga escala do cabo-rega, permitiria automatizar completamente o sistema, possibilitando a realização de regas repetidas sem intervenção humana.

Adicionalmente será desejável que os fabricantes dos tubos disponibilizem peças que facilitem a colocação, só por fora, das corredeiras ou torneiras, de modo a não constituírem, no interior, saliências que podem dificultar o movimento do êmbolo.

Poderá ser instalado um medidor automático do caudal de entrada no sistema, de modo a manter o controlador informado das variações na alimentação do campo. Assim, este poderá em cada instante corrigir a velocidade de deslocamento do êmbolo consoante os caudais totais disponíveis, melhorando significativamente a qualidade da rega, prevenindo-se também de cortes de água, podendo assim retomar a rega quando o fornecimento deste fosse re-estabelecido.

A oportunidade de rega pode ser determinada economicamente através de blocos de gesso do tipo “water-mark” ou outros tipos de sensores de humidade que meçam directamente a tensão de água no solo. Estes sensores podem ser ligados ao controlador do CaboGest, permitindo ao agricultor acompanhar a evolução do teor de água no solo e saber quando é que são atingidos valores críticos de tensão. Este sistema de apoio à

decisão a incluir em trabalhos futuros pode ser concebido economicamente, visto o equipamento já dispor de grande parte da “infra-estrutura” necessária, tais como a energia eléctrica, e equipamento com entrada de sinal analógica.

Será possível melhorar e ampliar o sistema de recolha de informação da evolução da rega, procurando abranger um maior número de pontos do campo. Esta nova funcionalidade do CaboGest, que não foi ensaiado no presente trabalho, permite detectar em tempo real as variabilidades naturais do campo que influenciam a evolução da rega, realizando as correcções necessárias durante a mesma.

A versão 3i do programa, com simulação inversa da rega, poderá ser apurada, através da limitação da gama dos tempos de deslocamento do êmbolo.

Em termos da organização do terreno em solos Argiluvitados, e dada a sua infiltrabilidade reduzida, tudo aponta no sentido de utilização de sulcos planos e bloqueados. Deste modo, o volume de água calculado para o comprimento do sulco seria aplicado, ficando a infiltrar durante o tempo necessário, sem perdas por excedentes. Esta opção terá também consequências benéficas em termos de transporte de sedimentos para fora do campo, apesar de este problema não ter sido significativo no presente ensaio.

O bom funcionamento dos sistemas cabo-rega, mais do que de qualquer outro sistema de rega, depende em grande parte do estudo de engenharia base e da adaptação às condições topográficas e de solo da parcela. Deste modo, a formação de técnicos competentes reveste-se de importância fundamental para o êxito destes sistemas.

Bibliografia

BIBLIOGRAFIA

- Anrega, (1988) *Programa de análise de rega*, Serralheiro, Universidade de Évora.
- Basset, D.L., D.D. Fangmeier, e T. Strelkoff (1983) *Hydraulics of surface irrigation*, in Design and operation of farm irrigation systems, ed. JENSEN, M.E., cap.12, St.Joseph, MI.ASAE.
- Bautista, E., e W.W. Wallander (1985) *Spatial Variability of Infiltration in Furrows*. Transactions of the ASAE 28(6):1846-1851.
- Bondurant, J.A. (1957) *Developing a furrow infiltrometer*. Agri Eng. 602-604. Aug.
- Brown, M.J., W.D. Kemper, T.J. Trout e A.S. Humpherys (1988) *Sediment, erosion and water intake in furrows*. Irrigation Science 9:45.
- Braz, P.N. (1990) *Ensaio de rega por sulcos com "cut-back" computadorizado*. Trabalho de fim de curso de Engenharia Agrícola apresentada a Universidade de Évora.
- Burt, C.M., A.J. Clemmens, T.S. Strelkoff, K.H. Solomon, R.D. Bliesner, L.A. Hardy, T.A. Howell, D.E. Eisenhauer (1997) *Irrigation Performance measures: Efficiency and Uniformity*. Jour. Irrigation and Drainage Engineering, 123 (4).
- Cable (1991) *A design program for the Cablegation automatic surface irrigation system* (por D.C.Kincaid, USDA-ARS.)
- Cablemet (1989) *A design program for the Cablegation automatic surface irrigation system-metric system* (por D.C.Kincaid, USDA-ARS.)
- Cameira, M.R. (1991) *Sistema Cabo-rega aplicado a sulcos. Funcionamento, avaliação e gestão*. Relatório do trabalho de fim de curso de Engenharia Agronómica. Lisboa, ISA.
- Campos, A.N.F.D.A. (2000) *Instalação e funcionamento de um protótipo de controlador de cabo-rega*. Relatório do trabalho de fim de curso de Engenharia Agronómica. Lisboa, ISA.
- Cardoso, J.C. (1965) *Os solos de Portugal- sua classificação, caracterização e génese (I-A Sul do rio Tejo)*. Direcção Geral dos Serviços Agrícolas. Lisboa.
- Cartomap v.4.0 (1996), *Programa de cartografia*, Aneba Geoinformática, S.L.
- Chia, H.M.B. (1995) *Sementeira de milho em camalhões permanentes regados por sulcos de nível*, Tese de Mestrado em Engenharia da Rega e dos Recursos Agrícolas, ISA, Lisboa.
- Chia, H.M.B. (2000) *Mobilização de conservação do solo em rega por sulcos*. In Estudo comparativo de métodos de rega no Alentejo. UE.
- CipherLab Basic Compiler V2.2 (2001) Syntech Information Co.Ltd

- Christiansen, J.E., A. A. Bishop, F.W. Kiefer Jr., e Y.S. Fok (1966) *Evaluation of intake rate constants as related to advance of water in surface irrigation*. Transactions of the ASAE 9(5).
- Clemmens, A.J., e J.B. Keats (1992) *Bayesian inference for feedback-control II: Surface irrigation example*. Jour. Irrigation and Drainage. Div. ASCE 118(3): 416-432.
- Cutback (1988) *Programa para o cálculo de Cut-back em rega por sulcos*, Serralheiro, Universidade de Évora.
- DeTar, M.R. (1989) *Infiltration function from furrow stream advance*, Jour. of Irrigation and Drainage Engineering, 115(4):722-731.
- Eisenhauer, D.E., D.J. Stieb, H.R. Duke, e D.F. Heerman (1983) *Transient surface seal development with shallow overland flow*. ASAE paper N° 83-2051. Michigan.
- Eisenhauer, D.E., A.B. Fekersillassie (2000) *Feedback-controlled surge irrigation: III Field experiments*. Transactions of the ASAE 43(6): 1643-1649.
- Elliot, R.L., D.E. Eisenhauer (1983) *Volume balance techniques for measuring infiltration in surface irrigation*. ASAE Winter meeting paper 83-2520.
- Elliot, R.L, W.R. Walker (1982) *Field Evaluation of Furrow Infiltration and advance functions*. Transactions of the ASAE, 25(2):396-400
- Elliot, R.L, W.R. Walker e G.V. Skogerboe (1982) *Zero inertia modeling of furrow irrigation advance*. Jour. of Irrigation and Drainage division, ASCE 108(IR3):179-195.
- Elliot, R.L, W.R. Walker e G.V. Skogerboe (1983a) *Furrow Irrigation Advance Rates: A dimensionless Approach*. Transactions of the ASAE 26(6):1722-1725,1731.
- Elliot, R.L, W.R. Walker e G.V. Skogerboe (1983b) *Infiltration parameters from furrow Irrigation advance data*. Transactions of the ASAE 26(6):1726-1731.
- Fangmeier, D.D., e M.K. Ramsey (1978) *Intake Characteristics of Irrigation furrows*. Transactions of the ASAE, 22(4):671-674.
- Fekersillassie, A.B., e D.E. Eisenhauer (2000a) *Feedback-controlled surge irrigation: I Model development*. Transactions of the ASAE 43(6): 1621-1630.
- Fekersillassie, A.B., e D.E. Eisenhauer (2000b) *Feedback-controlled surge irrigation: II Operating criteria and control*. Transactions of the ASAE 43(6): 1631-1641.
- Fok, Y.S., e A.A. Bishop (1965) *Analysis of water advance in surface irrigation*. Jour. of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, 91 (IR1):99-117.
- Foster, G.R., e L.D. Meyer (1972) *A closed form soil erosion equation for upland areas*. In *Sedimentation*, ed. H.W. Shen, Fort Collins: Water Resources Publications.
- Goel, M.C., W.D. Kemper, R. Worstell e J. Bondurant (1982) *Cablegation: III. Field assessment of performance*. Transactions of the ASAE 25(5): 388-395.

Gollani, H.T., T.E. Schumacher, P.D. Evenson, M.J. Lindstrom, G.D. Lemme (1991) *Aggregate stability of an eroded and desurfaced typic Argistoll*. Soil Sci. Soc. Am. Jour. 55: 811-816.

Haie, N. (1984) *Hydrodynamic simulation of continuous and surged surface flow*. Ph.D. Thesis, University of Utah, Logan.

Hairsine, P.B., C.J. Moran, e C.W. Rose (1992) *Recent developments regarding the influence of soils surface characteristics on overland flow and erosion*. Aus.J Soil Res., 30:249-64

Haise, H.R., W.W. Donnan, J.T. Phelan, L.F. Lawhon, e D.G. Shokley (1956) *The use of the cylinder infiltrometer to determine the intake characteristics of irrigated soils*. Publ. ARS 41-7 U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service and Soil Conservation Service, Washington, D.C.

Hibbs, R.A., L.G. James, e Cavalieri (1992) *A furrow irrigation automation system utilizing adaptive control*, Transactions of the ASAE 35(3): 1063-1067.

Holzapfel, E.A., M.A. Mariño, e J. Chavez-Morales (1984) *Comparison and selection of furrow irrigation models*. Agric. Water Management 9:105-125.

Humphreys, M. e T.J Trout (1990) *Feedback control of Cablegation systems*. Proceedings of the third national irrigation symposium, ASAE: 667-674.

Izadi, B. e W.W. Wallender (1985) *Furrow hydraulic characteristics and infiltration*. Transactions of the ASAE 28(6): 1901-1908.

Katopodes, N.D., J.H. Tang, e A.J. Clemmens (1990) *Estimation of surface irrigation parameters*, Jour. of Irrigation and Drainage Eng., 116(5): 676-694

Katopodes, N.D., T. Strelkoff (1977) *Hydrodynamics of border irrigation- complete model*. ASCE Jour. Irrigation and Drainage Div. 103(3)

Kemper, W.D. (1981) *Cablegation: I. Cable controlled plugs in perforated supply pipes for automatizing furrow irrigation*. Transactions of the ASAE 24(6): 1526-1532.

Kemper, W.D, e D.C. Kincaid (1982) *Cablegation: II. Simulation and Design of the moving-plug gated pipe irrigation system*. Transactions of the ASAE 25(2): 388-395.

Kincaid, D.C. (1991) *Cable: A design program for the Cablegation automatic surface irrigation system*, USDA-ARS.

Kincaid, D.C., e W.D. Kemper (1984) *Cablegation: IV. The bypass method and cutoff outlets to improve water distribution*. Transactions of the ASAE 27(3): 752-768.

Kincaid, D.C. (1984) *Cablegation: V. Simulation and Design of the moving-plug gated pipe irrigation system*. Transactions of the ASAE 27(3): 769-772.

Kincaid, D.C. (1985) *Cablegation: VI. The waterbrake controller*. Transactions of the ASAE 28(6): 1957-1960.

Kemper, W.D., D.C. Kincaid D.C., R.V. Worstell, W.H. Heinemann, T.J. Trout, J.E. Chapman, F.W. Kemper e M. Wilson. (1985) *Cablegation type irrigation systems: Description, design installation and performance*. Draft copy, Kimberly, Idaho, USDA.

- Kemper, W.D., T.J. Trout e D.C. Kincaid (1987) *Cablegation automated supply for surface irrigation*. In: Advance in Irrigation, Vol.4, D. Hillel, Ed. Academic Press, Inc.,:1-66.
- Latimer, E. A., e D.L. Reddell (1989) *A real time automated control system for surface irrigation*. Eleventh International Congress on Agricultural Engineering at Dublin, Ireland. Citado por Latimer e Reddell, 1990.
- Latimer, E.A., e D.L. Reddell (1990) *Real time automated furrow Irrigation system*. In: Visions of the Future, Proceedigs of the Third National Irrigation Symposium, ASAE, Phoenix, Atrizona:13-20.
- Lentz R.D., R.E. Sojka (1994) *Irrigation management using polymers*. Soil Science, 158(4):274-283.
- Martins, O.C., F.L. Santos, e R. Serralheiro (2000a) *Estudo da erosão e da infiltração em solo Mediterrâneo, com a aplicação de apoliacrilamida aniónica na água de rega*. In Estudo comparativo de métodos de rega no Alentejo. UE.
- Martins, O.C., F.L. Santos, S. Shahidian, e R. Serralheiro (2000b) *Contour Furrow and Polyacrylamide effects on irrigated Mediterranean soils*. AGENG, WARWICK.
- Matos, L.S.D. (1998) *Estudo do efeito da subsolagem num solo mediterrâneo regado por sulcos*, tese apresentado à Universidade de Évora em cumprimento parcial dos requisitos para obtenção do grau de Mestre.
- Medina, J.E., D. Martin, D. Eisenhauer (1998) *Infiltration model for furrow irrigation*, Jour. of Irri and Drainage Eng. 124(2):73-80.
- Merriam, J.L., e J. Keller (1978) *Farm irrigation system performance: A guide for management*. Dept. of Agricultural and Irrigation Eng. Utah State University, Logan, Utah.
- Miguens, M.F.P. (1997) *Estudo da erosividade da rega em sulcos declivosos*. Dissertação apresentada na Universidade de Évora em cumprimento parcial dos requisitos para obtenção do grau de Mestre. Universidade de Évora, Évora.
- Monteiro, A.S. (1995a) *Metodologias simplificadas para avaliação de sistemas de rega de superfície*. Dissertação de Mestrado. ISA, UTL, Lisboa.
- Monteiro, J.P.V.S. (1995b) *Dimensionamento, Avaliação e gestão do Sistema Cabo-rega em situações irregulares*, Relatório do Trabalho de Fim de Curso de Engenharia Agrónómica, ISA, UTL, Lisboa.
- Monteiro, M.F. (2000) *Guia de Viagem de Estudo - Solos e Técnicas de Rega*. Encontro Anual da SPCS "O uso do solo e da água" – Universidade de Évora, 15-17 de Junho de 2000.
- Moore, I.D., e G.J. Burch (1986) *Sediment transport capacity of sheet and rill flow: Application of unit stream power theory*, Water Resources Research 22(8): 1350-1360.
- Odeland, N. (1996) *Análise Química dos solos da Herdade do cabido e Anexas*. Trabalho laboratorial realizado na Universidade de Évora.

Or, D., e H.R. Silva (1996) *Prediction of surface irrigation advance using soil intake properties*, Irrigation Science (16): 159-167.

Oweis, T.Y. (1983) *Surge Flow Furrow Irrigation Hydraulics with Zero-Inertia*. Ph.D. dissertation, Agricultural and Irrigation Engineering Department, Utah State University, Logan, Utah.

Owoputi, L.O., e W.J. Stolte (1995) *Soil detachment in the physically based soil erosion process: A review*. Transactions of the ASAE 38(4) 1099-1110.

Pereira, C.B. (1992) *Controlo computadorizado da rega por sulcos de contorno com "cut-back" em tubo de janelas*. Trabalho de fim de curso de Engenharia Agrícola. Évora, Universidade de Évora.

Pereira, L.S. (1996) *Surface irrigation systems*. In Sustainability of Irrigated Agriculture, Ed. Pereira, L.S., R.A.Feddes, J.R. Gilley e B.Lesaffre. NATO ASI Series.

Philip, J.R. (1957) *The theory of infiltration, 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations*. Soil Science 84: 257-264.

Reddell, D.L. e E.A. Latimer (1987) *Field Evaluation of an advance rate feedback irrigation system*. In: Irrigation Systems for the 21st Century, Proceedings/Irrigation & Drainage Div., ASCE, Portland, Oregon: 317-324.

Renault, D., e W.W. Wallender (1997) *Surface storage in furrow irrigation evaluation*, Jour. of Irrigation and Drainage Engineering, 1997 (4):415-422.

Replogle, J.A., M.G. Bos (1982) *Flow measurement flumes; applications to irrigation water measurement*. In Hillel, D. (editor): Advances in irrigation, vol. I, Nova Iorque, Academic Press.

Sakkas, J.C., T. Strelkoff (1974) *Hydrodynamic of surface irrigation: Advance phase*. Jour. of Irrigation and Drainage, ASCE. 100(1).

Santos, A.M.M. (1992) *Desenvolvimento, Montagem e teste de um equipamento de Cabo-Rega para rega por sulcos*, trabalho de fim de curso, UEv. Évora.

Santos, I.P., e P.L. Sousa (2000) *Aplicação de fertilizantes na água de rega. Monitorio do azoto em rega de gravidade*. In Estudo comparativo de métodos de rega no Alentejo, Universidade de Évora.

Scaloppi, E.J, G.P. Merkley, e L.S. Willardson (1985) *Intake parameters from advance and wetting phase of surface irrigation*. Jour. of Irrigation and drainage engineering 121 (1): 57-70.

Segeren, A.G., e T.J. Trout (1991) *Hydraulic resistance of soil surface seals in irrigated furrows*. soil Science Society of America Jour. 55.

Serralheiro, R.P. (1988) *Um estudo da rega por sulcos num solo argiluiado*. Tese apresentada na Universidade de Évora para a obtenção do grau de Doutor. Évora.

Serralheiro, R.P. (1995) *Furrow Irrigation Advance and infiltration equations for a mediteranean soil*. Jour. Agricultural Engeneering Research. 62, 117-126.

Serralheiro, R.P. (1996) *Modernização e desenvolvimento da rega de superfície*, Universidade de Évora, Évora.

Shahidian, S. (1996) *Desenvolvimento, por automatização, de um sistema de Cabo-rega*. Tese apresentada a Universidade de Évora, para a obtenção do grau de Mestre, Évora.

Shayya, W.H., V.F. Bralts, e L.J. Segelind (1993) *Kinematic-wave furrow irrigation analysis: A finite element approach*. Transactions of the ASAE 36(6): 1733-1742.

Shepard, J.S., W.W. Wallender, e J.W. Hopmans (1993) One-Point method for estimating furrow infiltration, Transactions of the ASAE 36(2): 395-401.

SIRMOD (1989) *The surface irrigation simulations model (SIRMOD) user's guide*. Dept. of Agricultural and irrigation Engineering, Utah State University, Logan.

Skogerboe G.V., R.L. Elliot e W.R. Walker (1983) *Infiltration parameters from furrow irrigation advance data*. Transactions of the ASAE 26(6): 1726-1731.

Smerdon, E.T, A.W. Blair, D.L. Redell (1988) *Infiltration from irrigation advance data. I Theory*. Jour. of Irrigation and Drainage Engineering. ASCE Vol.114(1): 4-17

Soil Conservation Service USDA (1979) *Furrow irrigation*. Soil Conservation National Engineering Handbook.

Sojka, R.E., R.D. Lentz, D.T. Westermann (1998) *Water and erosion management with multiple applications of polyacrylamide in furrow irrigation*. Soil Science Society of America Journal. 62.

Sousa, P.L. (1990) *Modelação e gestão em rega por canteiros de nível*, Tese apresentada no Instituto Superior de Agronomia para a obtenção do grau de Doutor, ISA, Lisboa.

Sousa, P.L., M.R. Cameira, e A. Monteiro (1992) *Funcionamento e gestão do sistema Cabo-rega*. In Desenvolvimento de equipamentos mecanizados para rega de gravidade, ISA.

Souza, F. (1981) Non-linear Hydrodynamic Model of Furrow Irrigation. Tese de Doutouramento não-publicado, Univeristy of California, Davis, Calif.

Strelkoff, T. (1970) *Numerical solution of Saint-Venant Equation*. ASCE Jour. Hydraulic Div. 96(HY1): 223-252.

Strelkoff, T. (1990) *SRFR: a computer program for simulating flow in surface irrigation*. WCL report 17. USDA Phoenix, Arizona.

Strelkoff, T., e A.J. Clemmens (1981) *Dimentionless Stream Advance in Sloping Borders*. ASCE Jour. Irrigation Drain. Division 107(4):361-382.

Strelkoff, T., e A.J. Clemmens (2000) *Approximating wetted perimeter in power-law cross section*, Jour. of irrigation and drainage engineering, 126(2):98-109.

Strelkoff, T., e N.D. Katapodes (1977) *Border irrigation hydraulics with zero-inercia*. ASCE Jour. Irrigation Drainage Div. 103(3).

- Strelkoff T., e F. Souza (1984) *Modeling effects of depth on furrow irrigation*. Jour. Irrigation and Drainage. Eng. ASCE 110(4).
- Stringham, G.E., e J. Keller (1979) *Surge flow for automatic irrigation*. Proc. 1979 ASCE Irrigation Drainage Div. Spec. Conf. Albuquerque.
- Tabuada, M.A. (1989) *Modelação bidimensional e tridimensional da rega por sulcos*. Tese apresentada no Instituto Superior de Agronomia para a obtenção do grau de Doutor, ISA, Lisboa.
- Tabuada, M.A., Z.J.C.Rego, G.Vachaud e L.S.Pereira (1995) *Modeling of furrow irrigation. Advance with two-dimensional infiltration*, Agricultural Water Management 28, (3): 201-221.
- Trout, T.J. (1988) *Evaluation of cablegation system performance*. Kimberly, ID, USDA leaflet.
- Trout, T.J. (1990) *Flow velocity and wetted perimeter effects on furrow infiltration*. Transactions of the ASAE 35(3).
- Trout, T.J. (1996) *Furrow irrigation erosion and sedimentation: on-field distribution*. Transactions of the ASAE 39(5):1717-1723.
- Trout, T.J., e D.C. Kincaid (1987) *Feedback control of cablegation irrigation systems*. ASAE Paper #87-2642 presented at the 1987 Winter meeting ASAE. St. Joseph, MI 49085-9659.
- Trout, T.J., D.C. Kincaid e W.D. Kemper (1990) *Cablegation: A review of the past decade and prospects for the next*. In: Visions of the Future. Proceedings of the third national irrigation symposium, ASAE: 21-27.
- Trout, J., e P.L. Sousa (1991) *Soluções para automatização da rega por sulcos*. Actas da I semana de rega. DGHEA./ISA, 8-12 Abril Lisboa.
- Trout, T.J., R.E. Sojka, e R.D. Lentz (1995) *Poliacrylamide effect on furrow erosion and infiltration*. Transactions of the ASAE, 38(3):761-765.
- Utah State University Foundation (1989) *SIRMOD - The surface irrigation simulation model, user's guide*. Logan, Utah State University.
- Wallender, W.W., e M.Rayej (1990) *Shooting method for Saint Venant equations of furrow irrigation*. Jour. Irrigation and Drainage Engineering, 116(1).
- Walker, W.R. (1989) *Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems*. FAO Irrigation and Drainage Paper 45, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 137p.
- Walker, W.R., e J. Busman (1990) *Real-time estimation of furrow infiltration*. Jour. Irrigation and Drainage Engineering, 116(3).
- Walker, W.R. e R.L. Elliot (1982) *Field evaluation of furrow infiltration and advance functions*. Transactions of the ASAE 25(2): 396-400.
- Walker, W.R. e G.V. Skogerboe (1987) *Surface Irrigation. Theory and practice*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Walker, W.R., e A.S. Humpherys (1983), *Kinematic-Wave Furrow irrigation model*, Jour. of irrigation and Drainage Engineering, Vol 109, n°4.

Wangemann, S.G., R. A. Kohl, e P.A. Molumeli (2000) *Infiltration and percolation influenced by antecedent soil water content and air entrapment*, Transactions of ASAE 43(6):1517-1523.

Anexos

Nota: A numeração dos anexos é feita em função dos capítulos

Anexo 2.1 Tabela utilizada pelo controlador do cabo-rega desenvolvido por Sousa et al. (1992)

Declive do tubo $m\ m^{-1}$	Comprimento do sulco m	Caudal total $l\ seg^{-1}$	Velocidade do êmbolo em m/h , de acordo com a textura do solo				
			Argiloso	Franco Argiloso	Franco limoso	Franco arenoso	Arenoso
0,0035	100	10	12	12	10,3	8	8
	100	15					
	100	20					
	150	10	8	8	6,9	5,3	5,3
	150	15					
	150	20					
	200	10	6	6	5,1	4	4
	200	15					
	200	20					
	300	10	4	4	3,4	2,7	2,7
	300	15					
	300	20					
0,005	100	10	12	12	10,3	8	8
	100	15	12	12	12	12	12
	100	20					
	150	10	8	8	6,9	5,3	5,3
	150	15	8	8	8	8	8
	150	20					
	200	10	6	6	5,1	4	4
	200	15	6	6	6	6	6
	200	20					
	300	10	4	4	3,4	2,7	2,7
	300	15	4	4	4	4	4
	300	20					
0,01	100	10	12	12	10,3	8	8
	100	15	12	12	12	12	12
	100	20	12	12	12	12	12
	150	10	8	8	6,9	5,3	5,3
	150	15	8	8	8	8	8
	150	20	8	8	8	8	8
	200	10	6	6	5,1	4	4
	200	15	6	6	6	6	6
	200	20	6	6	6	6	6
	300	10	4	4	3,4	2,7	2,7
	300	15	4	4	4	4	4
	300	20	4	4	4	4	4

Declive recom. para os sulcos, $m\ m^{-1}$	0,0005	0,0005	0,001	0,002	0,004
Tipo sulco recomendado	bloqueados	bloqueados	bloqueados	abertos	abertos

Adaptado de Campos (2000)

ANEXO 3.1 Descrição do perfil do campo de ensaios (solo Pmg)

por F. Monteiro (2000) Instituto Superior de Agronomia

Descrição dos horizontes

Ap1

(00-12 cm) Pardo amarelado, 10YR 5/4 (s) e pardo amarelado escuro, 10YR 3-4/4 (h); franco-arenoso a franco-argilo-arenoso, com raro saibro quartzoso e accidental pedra miúda angulosa de quartzo e de rocha melanocrata de grão fino metamorfizada; anisoforme subangulosa fina moderada; compacidade pequena; ligeiramente duro; pouco poroso com poros finos e médios; poucas raízes finas e raras médias. Pouco fresco. Transição gradual plana para:

Ap2

(12-30 cm) Pardo amarelado, 10 YR 5/4 (s) e pardo amarelado escuro, 10 YR 3/4 (h); franco-argiloso-arenoso, com raro saibro quartzoso e felpático e rara pedra miúda angulosa, de quartzo e de rocha como acima; anisoforme angulosa média, moderada a forte, com muitas fendas finas e médias anastomosadas; compacidade média a grande; firme; pouco poroso com poros muito finos; raras raízes finas e médias. Fresco. Transição gradual plana para:

Bt1

(30-52 cm) Pardo amarelado, 10 YR 5/4-6 (s) e pardo amarelado escuro, 10YR 4/4 (h); argiloso, com accidental saibro quartzoso e felpático; anisoforme angulosa média forte; películas de argila extensas nas faces dos agregados; compacidade média; pouco pegajoso; plástico; fechado; ocasionais raízes muito finas. Fresco a húmido. Transição evidente ondulada para:

Bt2

(48-67 cm) Pardo amarelado, 10 YR 5/4-6 (s) e pardo amarelado escuro, 10 YR 3-4/4; argilo-arenoso; anisoforme angulosa média a grosseira fraca; raras fendas médias, sobretudo verticais; compacidade média; pouco pegajoso e pouco plástico; fechado; ocasionais raízes muito finas. Fresco a húmido. Transição evidente ondulada para:

C1

(67-92 cm) Rocha mesocrata, com evidência de metamorfismo, em diversos graus de alteração, na sua maior parte arenizada, com pequenas bolsas de material argilizado. Tonalidade geral pardacenta e acinzentada. O conjunto apresenta coesão forte e accidentais raízes muito finas. Fresco. Transição gradual plana a ondulada para:

C2

(92-153 cm) Rocha mesocrata com evidência de metamorfismo em diversos graus de alteração (em grande parte arenizada), apresentando núcleos (de rocha) com evidência de diaclasamento fino, com tons anegrados e pardacentos ao longo das diaclases. Conjunto com coesão média a forte. Ocasional raízes muito finas, principalmente nas diaclases. Fresco a húmido.

Localização: Monte do Cabidinho, Junto aos terraços de contorno

Litologia: Rocha mesocrata de grão médio a fino (metadiorito)

Topografia: Relevo geral ondulado suave; perfil observado praticamente no cimo de encosta com declive de 3% (aproximadamente)

Drenagem: Externa boa; interna regular a deficiente

Outros dados: acentuado fendilhamento superficial

Dados retirados do Guia de Viagem de Estudo - Solos e Técnicas de Rega. Encontro Anual da SPCS "O uso do solo e da água" – Universidade de Évora, 15-17 de Junho de 2000.

Anexo 3.2 Capacidade utilizável e Análise Físico-Química do Campo de Ensaio

1 Retenção de água no solo, (Pereira, 1992)

Profundidade	C.c. (Pf, 2.0)	C.c. Pf(4.2)	Cap. Utilizável	
			%Volume	mm
0-30	20,17	8.25	11.92	35.75
30-55	20.76	10.38	10.38	25.94

2 Retenção de água no solo e a Densidade Aparente (Gastão, 1993)

Profundidade	Dap, g.cm-3	%Volume		
		C.c.	C.E.	C.U.
0-35	1,72	26.2	15.1	11.1
35-55	1,74	29.7	21.3	8.4
55-90	1,83	11.4	5.9	5.5

3 Análise Granulométrica da Terra fina

	Profundidade		
	0-35 cm	35-cm	55-90 cm
Argila	23.6	29.0	15.3
Limo	0.5	6.3	7.9
Areia fina	35.0	24.5	24.6
Areia grossa	40.9	40.2	52.2
Classificação, segundo Costa (1975)	franco-argilo-arenoso	franco-argilo-arenoso	franco-argilo-arenoso

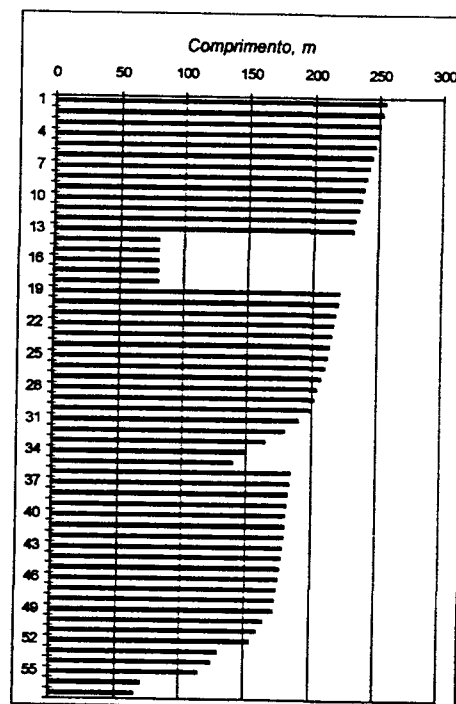
4 Análise Química, Odeland (1996)

	Profundidade		
	0-30 cm	30-50 cm	50-75 cm
pH	6.47	7.03	7.70
Cond. Eléctrica (mmhos cm ⁻¹)	0.031	0.042	0.036
Cálcio (meq/100g)	6.31	12.03	17.36
Magnésio (meq/100g)	3.60	12.08	16.80
Sódio (meq/100g)	0.22	0.37	0.63
Potássio (meq/100g)	0.14	0.18	0.17
CTC	10.80	20.80	36.10

Anexo 3.3 Comprimento dos sulcos nos três anos do ensaio

1997			1998			1999			
Sulco	Espac.	comprim	Sulco	Espac.	Comprim	Sulco	Espac.	Comprim	
Controlo	1	57	0	1	93	0	1	179	0
	1	150	255	1	150	232	1	75	232
	2	150	253	2	150	230	2	75	232
	3	150	251	3	150	228	3	75	230
	4	135	249	4	135	226	4	75	230
	5	150	247	5	150	224	5	75	228
	6	150	245	6	150	222	6	75	228
	7	150	243	7	150	220	7	75	226
	8	136	241	8	136	218	8	60	226
	9	150	239	9	150	216	9	75	224
	10	150	237	10	150	215	10	75	222
	11	150	235	11	150	214	11	75	222
	12	130	232	12	130	213	12	75	220
	13	150	231	13	150	212	13	75	220
	14	150	80	14	150	211	14	75	220
	15	150	80	15	150	210	15	75	218
	16	134	80	16	150	140	16	61	218
	17	150	80	17	150	100	17	75	216
18	150	80				18	75	216	
loco 2	19	150	221	18	150	209	19	75	215
	20	130	220	19	150	207	20	75	215
	21	150	218	20	130	205	21	75	214
	22	150	216,5	21	150	204	22	75	214
	23	150	215	22	150	204	23	75	213
	24	132	213,5	23	150	203	24	60	213
	25	150	212	24	132	203	25	75	212
	26	150	210	25	150	202	26	75	212
	27	150	207	26	150	201	27	75	211
	28	132	204	27	150	201	28	135	211
	29	150	202	28	132	201	29	75	210
	30	150	200	29	150	198	30	75	210
	31	150	190	30	150	184	31	75	210
	32	132	180	31	150	180	32	75	210
	33	150	165	32	132	180	33	225	208
	34	150	150	33	150	140	34	75	208
	35	150	140	34	150	120	35	75	208
				35	150	100	36	75	207
			36	180	80	37	75	207	
			37	150	70	38	75	207	
			38	150	60	39	60	205	
						40	75	205	
						41	75	205	
						42	65	204	
						43	75	204	
						44	75	204	
						45	75	203	
						46	150	203	
						47	75	203	
						48	60	203	
						49	75	202	
						50	75	202	
						51	75	201	
						52	75	201	
						53	75	201	
						54	75	201	
						55	75	201	
						56	135	201	
						57	75	198	
						58	75	198	
						59	75	184	
						60	75	184	
						61	75	180	
						62	75	180	
						63	75	180	
						64	60	180	
						65	75	144	
						66	75	140	
						67	75	120	
						68	75	120	
						69	75	100	
						70	75	100	
						71	75	80	
						72	75	80	
						73	75	70	
						74	225	70	

Comprimento dos sulcos em 1997



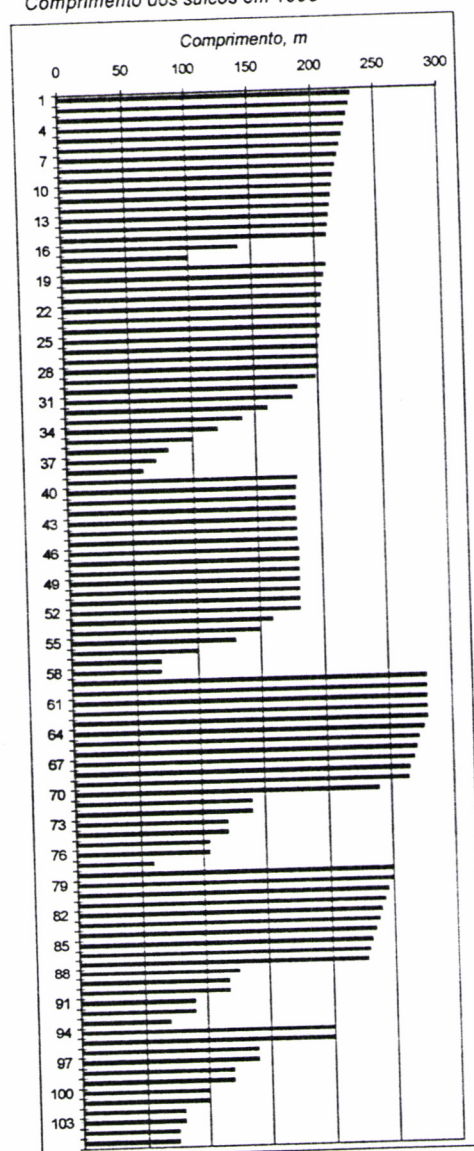
Bloco 3

Bloco 3						1999			
1997			1998			1999			
Sulco	Espac.	comprim	Sulco	Espac.	Comprim	Sulco	Espac.	Comprim	
36	150	185	39	150	182	75	75	182	
37	150	184	40	135	181	M7	76	75	182
38	150	183	41	150	180,5	77	75	181	
39	150	182	M7	42	150	180	78	75	181
40	135	181	43	150	181	79	75	180,5	
41	150	180,5	44	132	181	M8	80	75	180,5
M7	42	150	45	150	181	81	75	180	
43	150	179	M8	46	150	182	82	75	180
44	132	178	47	150	182	83	75	181	
M8	45	150	48	132	182	84	75	181	
46	150	176	49	150	182	85	75	181	
47	150	175	M9	50	150	182	86	60	181
48	132	174	51	150	182	87	75	181	
M9	49	150	52	150	182	M9	88	75	181
50	150	165	53	287	160	89	75	182	
51	150	160	54	150	150	90	75	182	
52	150	155	55	150	130	91	75	182	
53	287	130	56	150	100	92	75	182	
54	150	125	57	132	70	93	135	182	
55	150	115	58	150	70	94	75	182	
56	150	70				95	75	182	
57	132	65				96	75	182	
46	120					97	75	182	
						98	75	182	
						99	75	182	

Bloco 4

	59	150	280		111	75	285
	60	150	280		112	75	284
	61	150	280		113	65	283
M10	62	150	280		114	75	282
	63	150	280		115	75	281
	64	150	277	M10	116	75	280
M11	65	150	273		117	75	278
	66	150	271		118	75	276
	67	150	269		119	75	275
M12	68	150	265		120	75	274
	69	150	264		121	135	273
	70	150	240	M11	122	75	272
	71	150	140		123	75	271
	72	150	140		124	75	270
	73	150	120		125	75	269
	74	150	120		126	75	268
	75	150	105		127	75	266
	76	150	105	M12	128	65	265
	77	150	60		129	75	264
					130	75	263
					131	75	262
					132	75	256
					133	150	256
					134	75	145
					135	65	144
					136	75	143
					137	75	135
					138	75	132
					139	75	125
					140	75	123
					141	75	115
					142	75	110
					143	130	105
					144	75	100
					145	75	95
					146	75	90
					147	75	50
					148	300	50

Comprimento dos sulcos em 1998



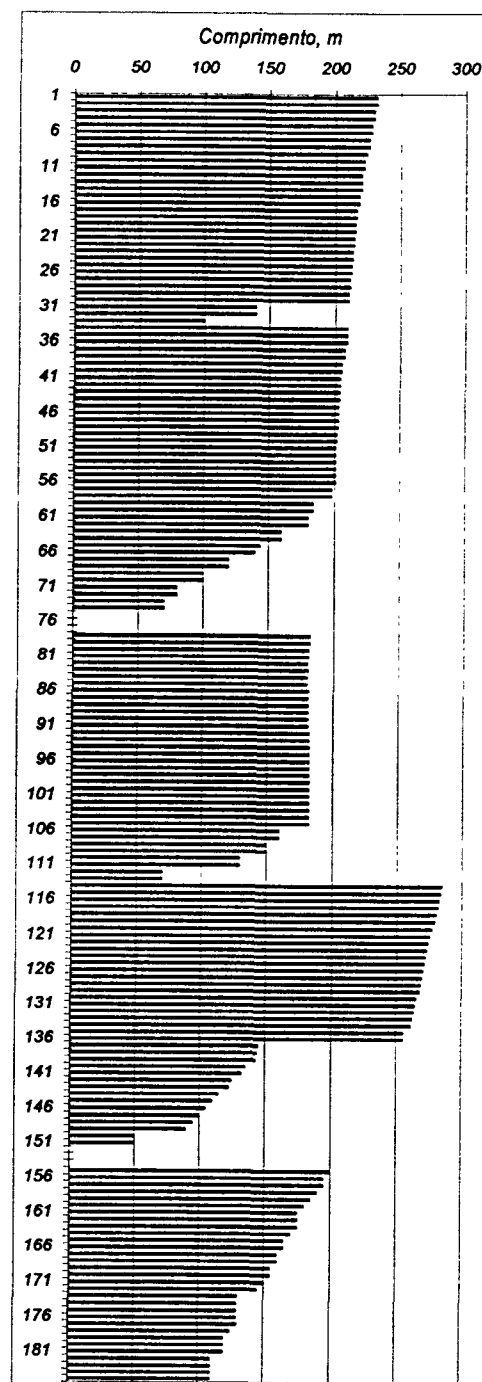
Bloco 5

1997			1998			1999		
Sulco	Espac.	comprim	Sulco	Espac.	Comprim	Sulco	Espac.	Comprim
			78	150	250	149	150	200
			79	150	250	150	75	195
			80	150	246	151	75	195
			81	150	243	152	75	190
			M13 82	150	240	153	75	185
			83	150	238	154	75	180
			84	150	235	155	75	175
			M14 85	150	232	156	75	175
			86	150	230	157	75	175
			87	150	228	158	75	170
			M15 88	150	128	159	75	165
			89	150	118	160	75	165
			90	150	118	161	75	160
			91	150	90	162	150	160
			92	150	90	163	75	155
			93	150	70	164	75	155

Bloco 6

			94	150	200	182	75	110
			95		200	183	75	100
			96		140	184	75	100
			97		140	185	75	100
			98		120	186	150	90
			99		120	187	150	90
			100		100	188	75	90
			101		100	189	75	80
			102		80	190	75	80
			103		80	191	75	80
			104		75	192	75	80
			105		75	193	150	70
						194	75	70
						195	75	70
						196	75	70
						197	75	70
						198	150	70
						199	75	70
						200	75	50
						201	75	50
						202	75	50
						203	75	50
						204	75	50
						205	75	50
						206	75	50
						207	75	50

Comprimento dos sulcos em 1999



Anexo 4.1 Estrutura simplificada do programa CaboGest

100	LEITURA DOS DADOS E DOS DIVERSOS PARAMETROS
300	DIÁLOGO INICIAL
800	APRESENTAÇÃO E ALTERAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA
1300	CALCULO DOS CAUDAIS DOS ORIFÍCIOS
1600	CORRECÇÃO DOS CAUDAIS
1650	IMPRESSÃO DOS CAUDAIS
1730	POSICIONAMENTO DO EMBOLO
1735	DETECÇÃO DO AVANÇO
1740	FIM DA REGA NO PRIMEIRO SULCO
1750	DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO DE INFILTRAÇÃO PELO MÉTODO DE ELLIOT E WALKER
	LEITURA DOS DADOS DA GEOMETRIA
1800	DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO DO AVANÇO
1820	DETERMINAÇÃO DA DOTAÇÃO A APLICAR
2000	INÍCIO DA ROTINA DA SIMULAÇÃO DO AVANÇO
2040	DETERMINAÇÃO DOS PARAMETROS DA EQUAÇÃO DA VELOCIDADE
2050	CÍCLO DE INCREMENTOS DE TEMPO AO LONGO DO SULCO
2055	PERCORRER O SULCO EM CADA INTERVALO DE TEMPO
2060	DETERMINAÇÃO DO ESPAÇO PERCORRIDO NO INT. TEMPO
2070	DETERMINAÇÃO DO VOLUME INFILTRADO NO INCREMENTO
	VOLUME INFILTRADO EM TODO O SULCO NO INCREMENTO
2075	ARMAZENAMENTO SUPERFICIAL NO INCREMENTO
2080	REDUÇÃO DO AVANÇO EM CASO DE INSUFICIÊNCIA DE CAUDAL
2090	IMPRESSÃO DOS CÁLCULOS
2100	DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE RUGOSIDADE
2200	ROUTINA PRINCIPAL DE DETERMINAÇÃO DOS TEMPOS DE INFILTRAÇÃO
	MUDANÇA DO SULCO A SER CALCULADO
	GESTÃO DOS SULCOS DE VERIFICAÇÃO
2300	DETERMINAÇÃO DO INTERVALO DE TEMPO ENTRE ORIFÍCIOS
3000	ROUTINA DE DETECÇÃO DO AVANÇO
4000	ROUTINA DA SELECÇÃO DA DOTAÇÃO
5000	ANDAMENTO DO EMBOLO
6000	GESTÃO DA REGA- DESLOCAÇÃO DO EMBOLO
6040	CONTROLO DA REGA
	MUDANÇA DO SULCO EM REGA
6120	AVANÇO MANUAL DO EMBOLO
6130	REGULAÇÃO MANUAL DA VELOCIDADE DO EMBOLO
6140	RECUPERAÇÃO E CONTINUAÇÃO DA REGA APÓS FALHA ELÉCTRICA
6150	SELECÇÃO DO SULCO EM REGA
6200	ACABAR A REGA

Anexo 4.2 Programa CaboGest para programador CipherLab

```

VC4.0" PRINT "GESTOR DE CABO REGA-CABOGEST
SELECT_FONT(1)
INF$ = ""
SENTIDO$ = ""

LED(8,1,2000)
PRINT "PREMIR F8 PARA CONTINUAR REGA
ANTERIOR"
ON KEY(8) GOSUB 8000
ON ESC GOSUB 8005
BEEP(2,200)
GOSUB 9000

FOR I = 1 TO 5000
NEXT I
DATA$ = DATE$
DATAINICIO = VAL(DATA$)
PRINT "DATA HOJE"; DATAINICIO
LED(10,3,100)

DIM COMP(300)
DIM HI(50)
DIM QI(50)
DIM QSI(600)
DIM LNI(61)
DIM ESPI(600)
DIM TI(300)
DIM TCI(300)
DIM INFI(600)

REM COMPRIMENTOS DOS SULCOS*****
ULT = 50
SULCO = 5
CONTROLO = SULCO

FOR I = 6 TO 81
COMP(I) = 180
NEXT I
FOR I = 82 TO 248
COMP(I) = 300
NEXT I
FOR I = 249 TO ULT
COMP(I) = 160
NEXT I

TCI(SULCO) = 0
TCOLDI = 0

REM GEOMETRIA TRANSVERSAL DO SULCO
REM VI: NUMERO DE DADOS DISPONIVEIS DO PERFIL DO
SULCO(INCLUINDO Y0)
VI = 7
J = INT((VI+1) / 2)

DIM B!(10)
DIM Y!(10)
B!(1) = 0
B!(2) = 0.038
B!(3) = 0.068
B!(4) = 0.095
B!(5) = 0.113
B!(6) = 0.13
B!(7) = 0.158
REM B!(8) =
REM B!(9) =

FOR I = 2 TO VI
Y!(I) = (I-1) / 100
NEXT I

SI = 0.0065
C = 150
CAUDAL = 870
DPIPE = 194
SI! = 0.0036
NM! = 0.08
D = 40
SY! = 0.7
FMM = 748
XM = 120
RAIOBOBI = 50
RAIOBOB2 = 30

ABERTURA = (3.14*(D/2)^2)/34
SQRSIX60! = 60*(SI!^0.5)

810 CLS
PRINT "0 SE CONCORDA COM OS VALORES "
PRINT "1 NUMERO DO SULCO CONTROLO ";
SULCO
PRINT "2 CAUDAL TOTAL. (LITROS/MIN) ";
CAUDAL
PRINT "3 DECLIVE DOS SULCOS, (M/M) "; SI!
PRINT "4 ABERTURA JANELAS, (MM) ";
ABERTURA
PRINT "5 LOCALIZ. PRIMEIRO CONTROLO, (M) ";
XM

820 INPUT Z
CLS
IF Z > 5 THEN GOTO 820
LOCATE 1,1
IF Z = 0 THEN GOTO 850
ON Z GOSUB 831, 832, 833, 834, 835
GOTO 810

831 PRINT "NUMERO DO SULCO CONTROLO ? ";
INPUT SULCO
RETURN

832 PRINT "CAUDAL TOTAL, L/MIN ? ";
INPUT CAUDAL
RETURN

833 PRINT "DECLIVE DOS SULCOS, M/M ? ";
INPUT SI!
RETURN

834 PRINT "ABERTURA JANELAS, MM ?";
INPUT ABERTURA
D = 2*((ABERTURA*34)/3.14)^0.5
RETURN

835 PRINT "LOCALIZ. PRIMEIRO CONTROLO, M ? ";
INPUT XM
RETURN

850 CLS

LOCATE 2,1
PRINT "CALCULO DOS CAUDAIS DOS ORIFICIOS"
QT! = C * (DPIPE ^ 4.865 * SI! / 6077145) ^
0.54054
PI! = CAUDAL / QT!
HMM! = DPIPE * 13.8 * (C / 150) ^ 0.76
HMM! = HMM! * SI! ^ 1.03 * PI! ^ 0.46

```

```

D4!= FMM* DPIPE/(D*D)
HMM!= HMM!*D4! * 0.56
QM! = 0.00429 * D * D * HMM!*0.5
CLS
PRINT "SULCO CAUDAL (L/S)"
V3! = 22939 / (DPIPE*4)
ORIFICE = 1
H!(I) = 0
QD! = CAUDAL
VIMM! = QD! * QD! * V3!

1500 IF H!(ORIFICE) = 0 THEN GOTO 1505
H! = H!(ORIFICE) / VIMM
1505 IF H! > 0.004 THEN GOTO 1510
H! = 0.004

1510 TEMP! = D * D * 0.0066023 * 0.65
Q!(ORIFICE) = TEMP! * (H!(ORIFICE))^0.5
IF QM! > 0 THEN GOTO 1540
Q!(ORIFICE) = QC
H!(ORIFICE) = 0
GOTO 1550
1540 Q!(ORIFICE) = Q!(ORIFICE) * (1 - 0.28 / (0.4 +
H!))

1550 QD! = QD! - Q!(ORIFICE)
PRINT ORIFICE;"-"; Q!(ORIFICE) / 60;" ";
IF QD! <= 0 THEN GOTO 1730
ORIFICE = ORIFICE + 1
V2MM! = QD! * QD! * V3
HFQD! = ((QD!*1.85)/1000000)*0.00424
H!(ORIFICE) = H!(ORIFICE - 1) + FMM * (S! - HFQD!)
+ VIMM! - V2MM!
IF H!(ORIFICE) <= 0 THEN H!(ORIFICE) = 1
VIMM! = V2MM!
GOTO 1500

1730 REM INICIAR A REGA NO SULCO CONTROLO
FOR Z= 1 TO 10000
NEXT Z
CLS
HH= VAL(LEFT$(TIME$, 2))
MM= VAL(MID$(TIME$, 3,2))
LOCATE 1,12
PRINT HH
LOCATE 1,14
PRINT ":"
LOCATE 1,15
PRINT MM

1740 LOCATE 2, 1
PRINT "T.AVANCO ATE MEIO DO SULCO (MIN)",
INPUT TM
LOCATE 3,1
PRINT "T.AVANCO ATE FIM DO SULCO (MIN)",
INPUT TF

HH= VAL(LEFT$(TIME$, 2))
MM= VAL(MID$(TIME$, 3,2))
SEGUNDOS8= 3600*HH + 60*MM
PNTR= SULCO
EMBOLO = SULCO
POINTER= SULCO
EEMBOLO = EMBOLO
MUDAR = TC!(EMBOLO)

CLS
1750 PRINT "Equaco INFILT.METODO ELLIOT E
WALKER "

```

```

1770 REM DETERMINACAO DO PERFIL TRANSVERSAL**
BM! = B!(J)
BF! = B!(VI)
YM! = Y!(J)
YF! = Y!(VI)

LNBB!=BF!/BM!
IF LNBB!<1 THEN LNBB!=1.05
IF LNBB!>4 THEN LNBB!=4
LNBB!=INT((LNBB!-0.95)*20)

LNYY!=YF!/YM!
IF LNYY!<1 THEN LNYY!=1.05
IF LNYY!>4 THEN LNYY!=4
LNYY!=INT((LNYY!-0.95)*20)

A2!=LN!(LNBB!)/LN!(LNYY!)
A1! = (BF! / (YF! ^ A2!))
LOCATE 2, 1
PRINT "B(M)= "; A1!; "Y^"; A2!

SIG1! = A1! / (1 + A2!)
SIG2! = 1 + A2!
PRINT "A (M2)= "; SIG1!; "Y^"; SIG2!

1780 Q0!=Q!(ORIFICE)/1000
WPF! = 0
1790 FOR I = 2 TO VI
WP! = 2 * ((Y!(I) - Y!(I - 1)) ^ 2 + (0.5 *
(B!(I) - B!(I - 1))) ^ 2) ^ 0.5
WPF! = WPF! + WP!
IF I = J THEN WPM! = WPF!
NEXT I

LNWP!=WPF!/WPM!
IF LNWP!<1 THEN LNWP!=1.05
IF LNWP!>4 THEN LNWP!=4
LNWP!=INT((LNWP!-0.95)*20)

LNYV!=Y!(VI)/Y!(J)
IF LNYV!<1 THEN LNYV!=1.05
IF LNYV!>4 THEN LNYV!=4
LNYV!=INT((LNYV!-0.95)*20)

G2!=LN!(LNWP!)/LN!(LNYV!)
G1! = WPF! / (Y!(VI) ^ G2!)
PRINT "PM (M)= "; G1!; "Y^"; G2!
SET_PRECISION(5)

AF! = SIG1! * ((VI-I) / 100) ^ SIG2!
AM! = SIG1! * ((J-I) / 100) ^ SIG2!
LNAA!=AF!/AM!
IF LNAA!<1 THEN LNAA!=1.05
IF LNAA!>4 THEN LNAA!=4
LNAA!=INT((LNAA!-0.95)*20)
U!=LN!(LNAA!)/LN!(LNWP!)
APM! = AF! / (WPF! ^ U!)
PRINT "A (M2)= "; APM!; "PM^"; U!
C2! = (3 * SIG2!) / (5 * SIG2! - 2 * G2!)
C1! = SIG1! * (((G1! ^ 0.67) / (SIG1! ^ 1.67))) ^
C2!)
A0! = C1! * ((Q0! * NM!) / (60 * (S! ^ 0.5)))
^ C2!

1800 'CALCULO DA CURVA DE AVANCO
FLM = COMP(SULCO)

LNFX!=FLM/XM
IF LNFX!<1 THEN LNFX!=1.05

```

```

IF LNFX!>4 THEN LNFX!=4
LNFX!=INT((LNFX!-0.95)*20)

LNNT!=TF/TM
IF LNNT!<1 THEN LNNT!=1.05
IF LNNT!>4 THEN LNNT!=4
LNNT!=INT((LNNT!-0.95)*20)
R!=LN!(LNFX!)/LN!(LNNT!)
P! = (FLM / (TF * R!))

REM DETERMINACAO DA EQ. DE INFILTRACAO
1810 VF! = (Q0! * TF) / FLM - (0.7 * A0!)
VM! = (Q0! * TM) / XM - (0.7 * A0!)

1815 LNJV!=VF!/VM!
IF LNJV!<1 THEN LNJV!=1.05
IF LNJV!>4 THEN LNJV!=4
LNJV!=INT((LNJV!-0.95)*20)
A!=LN!(LNJV!)/LN!(LNNT!)
SZ! = (A! + R! * (1 - A!) + 1) / ((1 + A!) * (1
+ R!))

K! = VF! / (SZ! * (TF * A!))
SET_PRECISION(4)
PRINT "Equ. INFILTRACAO Z(M/MIN) "; K!; "T"; A!
INPUT ZXZ$
SET_PRECISION(3)
CLS

REM DET. DOTACAO RECOMENDADA
KI! = K! * A!
AI! = A! - 1
FOR J = 5 TO 200
ZZ! = KI! * J * AI!
IF ZZ! < 0.0005 THEN GOTO 1816
NEXT J
1816 G! = (KI! * J * AI!) / (FMM / 1000)
1900 PRINT "DOTACAO RECOMENDADA ="; G! * 1000;
"; MM; "

LED(1,1,2000)
PRINT " F1 ALTERAR DOTACAO"
ON KEY(1) GOSUB 1910

REM CALCULO DAS INFILTRACOES INSTANTANEAS
FOR I = 1 TO 600
INFI!(I) = KI! * ((I) * AI!)
NEXT I
GOTO 2000

1910 OFF KEY(1)
LOCATE 2, 6
PRINT "DOTACAO PRETENDIDA, MM? "
INPUT G!
G! = G! / 1000
LOCATE 3,6
PRINT " ESPERE POR FAVOR"
RETURN

2000 REM ROTINA DE SIMULACAO DO AVANCO
CLS
TINT = TF
LOCATE 1,1
PRINT "CALCULANDO A RUGOSIDADE"
AP! = APM! * (-5 / (5 * U! - 2))
C4! = 3 / (5 * U! - 2)
AV! = APM! * (2 / (5 * U! - 2))
C6! = -(3 * U!) / (5 * U! - 2)
AA! = APM! * (-2 / (5 * U! - 2))
C8! = (3 * U!) / (5 * U! - 2)

REM NOVA SIMULACAO NO SULCO/SULCO NOVO
2040 VINFTTL! = 0
QTTL! = 0
VSUPTTL! = 0
Posi! = 0
ADV = ORIFICE
Qs!(I) = Q!(ORIFICE) / 1000
QSS! = Qs!(I)
WETPMIN! = (NM! - 0.04) * 4
IF NM! <= 0.04 THEN WETPMIN! = 0
NMSI!=NM! / SQRSIX60!

REM AVANCO AO LONGO DO SULCO
2050 FOR TINC = 1 TO 600
IF TINC / INT(TINT) <> INT(TINC / INT(TINT))
THEN GOTO 2055
ADV = ADV - 1
QSS! = Q!(ADV) / 1000
LOCATE 4, 1
REM PRINT "ORIFICIO"; ORIFICE - ADV; "CAUDAL
ENTRADA="; QSS!
IF QSS! = 0 THEN GOTO 2300

REM VELOCIDADE EM M/MIN
2055 VEL! = AV! * Qs!(TINC) * (Qs!(TINC) * NMSI!)
^ C6!
2060 ESP!(TINC) = VEL!
Posi! = Posi! + VEL!
VINFI! = 0
WETPM! = WETPMIN! + AP! * (Qs!(TINC) *
NMSI!) ^ C4!
IF Posi! > FLM THEN GOTO 2100

REM CALCULO DO VOLUME INFILTRADO NO INTERVALO
2070 IF TINC > 39 THEN GOTO 2072
FOR INC = 1 TO TINC
VINFI! = ESP!(INC) * INFI!(TINC - INC + 1)
VINFI! = VINFI! + VINFI!
NEXT INC
GOTO 2075

2072 TINC30 = TINC + 30 - INT(TINC / 10) * 10
FOR INC = 1 TO TINC30
VINFI! = ESP!(TINC - INC + 1) * INFI!(INC)
VINFI! = VINFI! + VINFI!
NEXT INC

FOR INC = TINC30 + 5 TO TINC STEP 10
VINFI! = 10 * ESP!(TINC - INC + 1) * INFI!(INC)
VINFI! = VINFI! + VINFI!
NEXT INC

REM CALCULO VOLUME A SUPERFICIE
2075 VSUP! = ESP!(TINC) * APM! * (WETPM! * U!)
VSUPTTL! = VSUPTTL! + VSUP!
QTTL! = QTTL! + QSS!
VINFTTL! = VINFTTL! + VINFI!
Qs!(TINC + 1) = (QTTL! - VINFTTL! - VSUPTTL!)
/ (TINC + 1)

REM CORRECCAO DA VELOCIDADE
2080 IF Qs!(TINC + 1) > 0 THEN GOTO 2095
IF VEL! < 0.06 THEN GOTO 2300
Posi! = Posi! - VEL!
VEL! = VEL! * 0.9
VINFTTL! = VINFTTL! - VINFI!
QTTL! = QTTL! - QSS!
VSUPTTL! = VSUPTTL! - VSUP!
VSUPTTL! = VSUPTTL! * 0.995

```

```

GOTO 2060

2095 NEXT TINC

2100 REM ACERTO DO N DE MANNING
IF INF$ = "OK" THEN GOTO 2200
IF SENTIDO$ = "OK" THEN GOTO 2150
LOCATE 1, 1
PRINT "NM= "; NM!; " ACERTANDO O N DE
MANNING"

2110 IF TINC <= 1.05 * TF THEN GOTO 2120
IF SENTIDO$ <> "AUMENTAR" THEN GOTO 2120
NM! = NM! - 0.005
SENTIDO$ = "OK"
LOCATE 1, 1
PRINT "NM= "; NM!; " ACERTANDO O N DE
MANNING"
GOTO 2040

2120 IF TINC >= 0.95 * TF THEN GOTO 2130
IF SENTIDO$ <> "DIMINUIR" THEN GOTO 2130
NM! = NM! + 0.005
SENTIDO$ = "OK"
LOCATE 1, 1
PRINT "NM= "; NM!; " ACERTANDO O N DE
MANNING"
GOTO 2040

2130 IF TINC <= 1.05 * TF THEN GOTO 2140
SENTIDO$ = "DIMINUIR"
NM! = NM! - 0.01
LOCATE 1, 1
PRINT "NM= "; NM!; " ACERTANDO O N DE
MANNING"
GOTO 2040

2140 IF TINC >= 0.95 * TF THEN GOTO 2150
SENTIDO$ = "AUMENTAR"
NM! = NM! + 0.01
LOCATE 1, 1
PRINT "NM= "; NM!; " ACERTANDO O N DE
MANNING"
GOTO 2040

2150 CLS
LOCATE 1, 5
PRINT "SULCO CONTROLO = "; SULCO; " NM = ";
NM!

2200 REM DURACAO DA REGA EM CADA SULCO
TINF! = ((G! * FMM / (1000 * K!)) * (1 / A!)) /
(ORIFICE - 1)
T!(SULCO) = TINT + TINF!
REM T(SULCO) E A DURACAO DE APLICACAO DE
AGUA NO SULCO SULCO
TC!(SULCO) = TCOLD! + T!(SULCO)
LOCATE 4, 1
PRINT "TEMP.NEC.P/INFILTRAR"; G! * 1000;
"MM= "; TINF! * (ORIFICE - 1); "MIN"

LOCATE 2,10
PRINT "SULCO "; SULCO; " "; HH; " "; MM; " ";
TINC; "MIN."

IF INF$ <> "OK" THEN
HH = HH + INT((TF + MM) / 60)
MM = MM + TF - 60 * INT((TF + MM) / 60)
ELSE

HH = HH + INT((T!(SULCO) + MM) / 60)
MM = MM + T!(SULCO) - 60 * INT((T!(SULCO) +
MM) / 60)
END IF

REM MUDANCA DO SULCO A SER CALCULADO
POINTER = POINTER + 1
IF POINTER > ULT THEN GOTO 6000
TCOLD! = TC!(SULCO)
SULCO = POINTER
TINT = INT(TINC / (ORIFICE - 1))

REM ESTAS DUAS LINHAS PERMITEM POUPAR CONTAS
SE O SULCO TEM O MESMO COMPRIMENTO
IF INF$ <> "OK" THEN GOTO 2250
IF FLM = COMP(POINTER) THEN GOTO 2200

2250 INF$ = "OK"

FLM = COMP(POINTER)
GOTO 2040

2300 IF Posi! >= FLM THEN GOTO 2200
TINT = TINT + 1
MLEFT! = FLM/Posi!
IF MLEFT! < 1.1 THEN GOTO 2310
TINT = TINT + 1
2310 IF MLEFT! < 1.2 THEN GOTO 2320
TINT = TINT + 1
2320 PRINT "TINT"; TINT; Posi!
GOTO 2040

H2 = VAL(LEFT$(TIME$, 2))
M2 = VAL(MID$(TIME$, 3, 2))
SEGUNDOS8 = 3600 * H2 + 60 * M2
LOCATE 1,12
PRINT H2; " "; M2

REM ROTINA DO CONTROLO DA REGA - TEMPO EM
MINUTOS
6000 CLS
COEFM=1
START_DEBUG(3,5,1,2,3)
LOCATE 1, 10
REM PRINT "CONTROLO DA REGA"
PNTR = PNTR + 1
EMBOLO=PNTR
GOSUB 7000
LED(1,1,4000)
LED(2,1,4000)
LED(8,3,50)
LOCATE 2,1
PRINT "FI MUDAR S. F2 AFINAR VEL F8
ACABAR"
ON KEY(1) GOSUB 6150
ON KEY(2) GOSUB 6130
ON KEY(8) GOSUB 6200
H2 = VAL(LEFT$(TIME$, 2))
M2 = VAL(MID$(TIME$, 3, 2))
REM HORA0 A HORA DO DIA EM MINUTOS
HORA0 = 60 * H2 + M2

REM ROTINA PRINCIPAL DA GESTAO DA REGA
6050 LOCATE 1,10
H2 = VAL(LEFT$(TIME$, 2))
M2 = VAL(MID$(TIME$, 3, 2))
MINUTOS = 60 * H2 + M2
PRINT H2; " "; M2

```



```

MUDAR = TC!(EMBOLO)
VALTIME!= VAL(TIME$)
REM SE PASSA DA MEIA NOITE, REDUZ 24
HORAS NAS HORAS DA REGA
DATA$= DATE$
DATAGORA= VAL(DATA$)
REM PRINT "DATA HOJE"; DATAGORA
HR24 = 1440*(DATAGORA-DATAINICIO)
IF MINUTOS < MUDAR + HORA0 - HR24 THEN
GOTO 6100

REM MUDANCA DE SULCO*****
PNTR = PNTR + 1
EMBOLO=PNTR
IF EMBOLO = ULT THEN GOTO 6200
GOSUB 7000

6100 LOCATE 1, 10
PRINT H2; " "; M2
LOCATE 1,20
PRINT "SULCO SENDO REGADO:"; EMBOLO
HORAM = TC!(EMBOLO) + HORA0
LOCATE 4, 1
PRINT "HORA MUDANCA S. "; INT(HORAM / 60)
- INT(HR24 / 60); " "; INT(HORAM - INT(HORAM / 60) *
60)
FIMREGA = TC!(ULT) + HORA0
IF FIMREGA > 1440 THEN
MANHA$ = "AMANHA"
FIMREGA = FIMREGA - 1440
END IF
LOCATE 3,1
PRINT "A REGA ACABA "; MANHA$; " AS ";
INT(FIMREGA/60); " "; INT(FIMREGA-
INT(FIMREGA/60)*60)
GOTO 6050

6120 CLS
LOCATE 2, 4
PRINT "(0 PARA ACABAR A REGA E SAIR)"
REM INPUT ZZZ$: IF ZZZ$ = "0" THEN 6200
RETURN

6130 LOCATE 2, 2
PRINT "INTROD.COEF. MOTOR (I=NORM. <1
ABRANDA, > 1 ACELERA";
INPUT COEFM
LOCATE 2, 2
PRINT "
RETURN

REM ROTINA DE SELECCAO DO SULCO A SER REGADO
6150 CLS
LOCATE 9, 1
PRINT "COMEÇAR EM QUE SULCO "
INPUT PNTR
EMBOLO = PNTR
REM LOCATE 9, 1
REM PRINT EMBOLO;
REM PRINT "OK" (1/2)
REM INPUT SN$
REM IF SN$ = "2" THEN GOTO 6150
H2= VAL(LEFT$(TIME$, 2))
M2= VAL(MID$(TIME$, 3,2))
HORA0= 60*H2 +M2-TC!(EMBOLO-1)
CLS
GOTO 6050

```

```

6200 PRINT "ACABAR"
STOP

REM ANDAMENTO DO EMBOLO *****
7000 RAI0B0B = RAI0B0B2 + ((RAI0B0B1 - RAI0B0B2)
* (ULT - EMBOLO) / (ULT-10))
DURACAO&= FMM / ((2 * 3.14 * RAI0B0B) *
COEFM) * (600/10.7)
LOCATE 4, 1
PRINT "EM ANDAMENTO PARA CHEGAR AO
SULCO "; EMBOLO;

REM ESPECIAL COMENDA: ANDA DOIS SULCOS DE CADA
VEZ
IF EMBOLO <11 THEN GOTO 7010
DURACAO&=DURACAO&*2
7010 DIGOUT(1,1,DURACAO&)
LOCATE 4, 1
PRINT "
RETURN

8000 CLS
BEEP(3,300)
TC!(EMBOLO - 1) = 0
GOTO 6000
RETURN

8005 BEEP(3,300)
START_DEBUG(3,5,1,2,3)
ON ESC GOSUB 8010
RETURN

8010 STOP_DEBUG
ON ESC GOSUB 8005
RETURN

9000
LN!(1)=0
LN!(2)=0.048790164
LN!(3)=0.09531018
LN!(4)=0.139761942
LN!(5)=0.182321557
LN!(6)=0.223143551
LN!(7)=0.262364264
LN!(8)=0.300104592
LN!(9)=0.336472237
LN!(10)=0.371563556
LN!(11)=0.405465108
LN!(12)=0.438254931
LN!(13)=0.470003629
LN!(14)=0.500775288
LN!(15)=0.530628251
LN!(16)=0.559615788
LN!(17)=0.587786665
LN!(18)=0.515185639
LN!(19)=0.641853886
LN!(20)=0.667829373
LN!(21)=0.693147181
LN!(22)=0.717839793
LN!(23)=0.741937345
LN!(24)=0.765467842
LN!(25)=0.78845736
LN!(26)=0.810930216
LN!(27)=0.832909123
LN!(28)=0.854415328
LN!(29)=0.875468737
LN!(30)=0.896088025
LN!(31)=0.916290732

```

LN!(32)=0.936093359
LN!(33)=0.955511445
LN!(34)=0.97455964
LN!(35)=0.993251773
LN!(36)=1.011600912
LN!(37)=1.029619417
LN!(38)=1.047318994
LN!(39)=1.064710737
LN!(40)=1.08180517
LN!(41)=1.098612289
LN!(42)=1.115141591
LN!(43)=1.131402111
LN!(44)=1.147402453
LN!(45)=1.16315081
LN!(46)=1.178654996
LN!(47)=1.193922468
LN!(48)=1.208960346
LN!(49)=1.223775432
LN!(50)=1.238374231
LN!(51)=1.252762968
LN!(52)=1.266947603
LN!(53)=1.280933845
LN!(54)=1.294727168
LN!(55)=1.30833282
LN!(56)=1.32175584
LN!(57)=1.335001067
LN!(58)=1.348073148
LN!(59)=1.360976553
LN!(60)=1.373715579
LN!(61)=1.386294361
RETURN

Anexo 4.3 Programa CaboGest. versão 3i

```
' Cabog3i.BAS- 15.08,99
CLS : COLOR 15: LOCATE 2, 14: PRINT " CaboGest - Gestor e Optimizador do Cabo-rega VERSAO 3i ":
LOCATE 3, 20: PRINT " Universidade de Evora, 1995-2002 "
coefm = 1: raiohob1 = 6: raiohob2 = 3: hr24 = 0: ij = 1

100 DIM sulc(200), dis(200), comp(200), Q(50), h(50), Qs(400), Esp(400), t(200), cont(10), tc(200), Hz1(200),
Vinf(300), tint(200)
OPEN "COMPRIM.Dat" FOR INPUT AS #2

INPUT #2, prim, num, cntl
FOR i = prim TO num:
INPUT #2, sulc(i), dis(i), comp(i): area = area + dis(i): NEXT i
FOR i = 1 TO cntl: INPUT #2, cont(i), cx(i): NEXT i
CLOSE #2

150 sulco = 12
pntr = sulco
ult = sulc(num):
ult = 50

200 OPEN "Geomet.dat" FOR INPUT AS #3
202 INPUT #3, zz$, fmm, zz$, Xm
300 OPEN "rega.prm" FOR RANDOM AS #5: GET #5, 1, lastfile$
LOCATE 7, 1:
PRINT "Premir 1 para comecar nova rega com a configuracao actual ("; lastfile$; ") "
PRINT "Premir 2 para utilizar uma outra configuracao"
REM PRINT "Se n.º premir nenhuma tecla continua a rega anterior"
FOR w = 1 TO 300000: iN$ = INKEY$: IF iN$ = "2" THEN 305
FOR ww = 1 TO 10: NEXT ww
IF iN$ = "1" THEN 310
NEXT w: sn$ = "continuar": GOTO 310

305 INPUT "nome do ficheiro a utilizar "; lastfile$
IF lastfile$ <> "" THEN 310
s = .022: C = 150: Caudal = 700: Dpipe = 194:
s1 = .0016: Nm = .04: d = 35: sy = .7: pmi$ = "nao ": CLOSE #4: GOTO 800

310 OPEN lastfile$ FOR RANDOM AS #4: IF sn$ = "continuar" THEN 6140
GET #4, 1, ident$: GET #4, 2, s: GET #4, 3, C: GET #4, 4, Caudal: GET #4, 5, Dpipe
GET #4, 6, s1: GET #4, 7, Nm: GET #4, 8, d: GET #4, 9, sy: GET #4, 10, pmi$: GET #4, 20, mostrar$: CLOSE #4

800 CLS
LOCATE 15, 5: PRINT "Premir qualquer tecla para alterar a configuracao"
LOCATE 16, 17: PRINT "Ou o programa continua"
FOR w = 1 TO 100000: iN$ = INKEY$: LOCATE 23, 60: PRINT USING "###.#"; (100000 - w) / 1000
IF iN$ <> "" THEN CLS : GOTO 810
NEXT w: GOTO 850

810 LOCATE 6, 8: PRINT USING "1 Declive do tubo, ###.# m/m"; s
LOCATE 7, 8: PRINT USING "2 Rugosidade do tubo, ###.#"; C
LOCATE 8, 8: PRINT USING "3 Caudal total, #### litros/min"; Caudal
LOCATE 9, 8: PRINT USING "4 Diametro interno do tubo, ### mm"; Dpipe
LOCATE 10, 8: PRINT USING "5 Declive dos Sulcos, ###.# m/m"; s1
LOCATE 11, 8: PRINT USING "6 Diametro Equivalente das janelas, ### mm"; d
LOCATE 12, 8: PRINT USING "7 Factor de forma de armazenagem superficial, ###.#"; sy
LOCATE 13, 8: PRINT USING "8 N de Manning inicial, ###.#"; Nm
LOCATE 14, 8: PRINT USING "9 Distancia entre orificios, #### mm"; fmm
LOCATE 15, 8: PRINT USING "10 Localizacao do primeiro controlo, ### m"; Xm
LOCATE 16, 8: PRINT "11 Simulacao "; pmi$: "considera o Pm na modelacao "
LOCATE 17, 8: PRINT "12 Identificador do ficheiro "; ident$
LOCATE 18, 8: PRINT "13 Nome do ficheiro onde guardar os dados "; lastfile$
```

```

820 LOCATE 23, 24: PRINT " <0> se concorda com os valores
LOCATE 22, 7: INPUT "Para alterar algum valor, digite o número da respectiva linha": z
LOCATE 22, 69: PRINT " ": LOCATE 23, 24: IF z = 0 THEN 850
ON z GOSUB 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844
GOTO 810

```

```

831 INPUT " Declive do tubo, m/m "; s: RETURN
832 INPUT " Rugosidade do tubo "; C: RETURN
833 INPUT " Caudal total, l/min "; Caudal: RETURN
834 INPUT " Diametro interno tubo, mm "; Dpipe: RETURN
835 INPUT " Declive dos Sulcos, m/m "; s1: RETURN
836 INPUT "Diametro equivalente janelas, mm"; d: RETURN
837 INPUT "Factor forma de Armz.superficial"; sy: RETURN
838 INPUT " N de Manning inicial "; Nm: RETURN
839 INPUT "Dist/ncia entre orificios, mm"; fmm: RETURN
840 INPUT "Localiza+o primeiro controlo, m"; Xm: RETURN
841 IF pmi$ = "nao" THEN pmi$ = "": RETURN
pmi$ = "nao ": RETURN
842 INPUT "Identificador a incluir"; ident$: RETURN
843 INPUT "Nome do ficheiro dos dados da rega "; lastfile$: RETURN
844 IF mostrar$ = "Nao" THEN mostrar$ = "": RETURN
mostrar$ = "Nao": RETURN
850 PUT #5, 1, lastfile$: CLOSE #5: OPEN lastfile$ FOR RANDOM AS #4: PUT #4, 1, ident$
PUT #4, 2, s: PUT #4, 3, C: PUT #4, 4, Caudal: PUT #4, 5, Dpipe
PUT #4, 6, s1: PUT #4, 7, Nm: PUT #4, 8, d: PUT #4, 9, sy: PUT #4, 10, pmi$
PUT #4, 11, Xm: z$ = DATE$: PUT #4, 12, z$: PUT #4, 20, mostrar$: PUT #4, 29, sulco

```

```

REM CALCULO DOS CAUDAIS DOS ORIFICIOS*****
1300 Q5 = C * (Dpipe ^ 4.865 * s / 6077145!) ^ .54054
P1 = Caudal / Q5
1320 H3mm = Dpipe * 13.8 * (C / 150) ^ .76 * s ^ 1.03 * P1 ^ .46 * (fmm * Dpipe / d ^ 2) ^ .56
Qm = .00429 * d ^ 2 * SQR(H3mm)
F3 = 6077145! / (C ^ 1.85 * Dpipe ^ 4.865)
V3 = 22939 / Dpipe ^ 4
orifice = 1: h(1) = 0: Q3 = Caudal
V1mm = Q3 ^ 2 * V3

```

```

1500 h1 = h(orifice) / V1mm: IF h1 < .004 THEN h1 = .004
Q(orifice) = d * d * .0066023 * .65 * SQR(h(orifice))
IF Qm > 0 GOTO 1540
Q(orifice) = QC: h(orifice) = 0: GOTO 1550
1540 Q(orifice) = Q(orifice) * (1 - .28 / (.4 + h1))
1550 Q3 = Q3 - Q(orifice)
aguattl = aguattl + Q(orifice)
IF Q3 <= 0 THEN 1600
orifice = orifice + 1: V2mm = Q3 * Q3 * V3
h(orifice) = h(orifice - 1) + fmm * (s - F3 * Q3 ^ 1.85) + V1mm - V2mm
IF h(orifice) <= 0 THEN h(orifice) = 1
V1mm = V2mm
GOTO 1500

```

```

REM CORRECÇÃO DOS CAUDAIS*****
1600 FOR o = 1 TO orifice: Q(o) = Q(o) * Caudal / aguattl: NEXT o

```

```

REM IMPRESSÃO DOS CAUDAIS *****
1650 CLS : LOCATE 1, 25: PRINT "Carga Piezom,trica e Caudais"
LOCATE 2, 2: PRINT " Orif. Q(L/seg) Orif. Q(L/seg) Orif. Q(L/seg)"
FOR o = 2 TO orifice
LOCATE 1 + o - extra, 5 + extra: IF o > 17 THEN extra = 17: IF o > 35 THEN extra = 35
PRINT USING "## ##.## "; o - 1; Q(o) / 60
NEXT o

```



```

REM POSICIONAMENTO DO EMBOLO *****
1730 LOCATE 21, 17: PRINT "Posicionamento do êmbolo no sulco controle"
    LOCATE 22, 25: PRINT "Iniciar o fornecimento da agua"
    LOCATE 24, 8: PRINT "detecção automática ou premir uma tecla quando alcançar o sulco": sulco;
    OUT &H378, 255
REM OPEN "COM1:150,E,7.1.cd0.cs0.ds0" FOR RANDOM AS #1
REM COM(1) ON: ON COM(1) GOSUB 3000
1735 REM PRINT #1, a:
    IF alcancar = 0 AND INKEY$ = "" THEN 1735
    inicio = TIMER: OUT &H378, 0

    CLS : time = TIMER: hh = INT(time / 3600): mm = INT((time - hh * 3600) / 60)
    embolo = pntr: tc(embolo) = time / 60 + (dis(embolo) - 2) / 65
    LOCATE 7, 25: PRINT " Hora início da Rega"; hh; ":"; mm; " ": PRINT #4, "H início"; hh; mm

REM detecção do avanço*****
GOTO 1745
REM LOCATE 22, 12: PRINT "detecção automática dos tempos de avanço "
REM LOCATE 23, 12: PRINT "Premir qualquer tecla para introdução manual"
REM OPEN "COM2:150,E,7.1.cd0.cs0.ds0" FOR RANDOM AS #5
REM COM(2) ON: ON COM(2) GOSUB 3010

1740 REM PRINT #5, a
REM IF tmrele = 0 AND INKEY$ = "" THEN 1740
REM tm = (tmrele - inicio) / 60
REM IF INKEY$ <> "" THEN 1745
REM ON COM(2) GOSUB 3020
REM i = 1
1742 REM PRINT #5, 6
REM PRINT i: IF INKEY$ <> "" THEN 1745
REM i = i + 1: IF i <= 30 THEN GOTO 1742
REM COM(2) OFF
REM tf = (TIMER - inicio) / 60
REM GOTO 1749

1745 LOCATE 22, 12: PRINT "    Tempo de avanço at, meio sulco (min)": INPUT tm
    LOCATE 23, 12: PRINT "    Tempo de avanço at, fim do sulco (min)": INPUT tf
1749 PUT #4, 13, tm: PUT #4, 14, tf

    embolo = embolo + 1
REM LOCATE 24, 23: PRINT " (0,0 se n, o possui esses dados)";
REM LOCATE 23, 14: INPUT "Prof.escoamento início, meio do sulco,(m,m)": y1, y2

1750 CLS
    LOCATE 9, 12: PRINT " Equat.,o de Infiltra.,o pelo metodo de Elliot e Walker "
    INPUT #3, v1: J = INT(v1 / 2): Numero de dados disponiveis do perfil do sulco(incluindo y0)
    DIM b(v1): DIM y(v1)
    FOR i = 0 TO v1 - 1
        y(i) = i / 100: INPUT #3, b(i)
    NEXT i

1770 bm = b(J): bf = b(v1 - 1): ym = y(J): yf = y(v1 - 1)
    A2 = (LOG(bf / bm)) / LOG(yf / ym): A1 = (bf / (yf ^ A2))
    LOCATE 2, 43: PRINT "Geometria do Sulco:",
    LOCATE 4, 43: PRINT USING "b (m)= ##.## x y"; A1; : PRINT "^"; : PRINT USING "##.##"; A2
    sig1 = A1 / (1 + A2): sig2 = 1 + A2
    LOCATE 5, 43: PRINT USING "A (m2)= ##.## x y"; sig1; : PRINT "^"; : PRINT USING "##.##"; sig2
    Sm = sig1 * (y1 ^ sig2) / 2: Sttl = (sig1 * (y1 ^ sig2) + 2 * sig1 * (y2 ^ sig2)) / 4
1780 Q0 = Q(orifice) / 1000

1790 FOR i = 1 TO v1 - 1
    wp = 2 * ((y(i) - y(i - 1)) ^ 2 + (.5 * (b(i) - b(i - 1))) ^ 2) ^ .5
    wpf = wpf + wp
    IF i = J THEN wpm = wpf

```

```

NEXT i

g2 = (LOG(wpf / wpm)) / LOG(y(v1 - 1) / y(J));
g1 = wpf / (y(v1 - 1) ^ g2)
LOCATE 6, 43: PRINT USING "Pm (m)=###.## x y"; g1; : PRINT "^"; : PRINT USING "###.##"; g2
af = sig1 * ((v1 - 1) / 100) ^ sig2: am = sig1 * (J / 100) ^ sig2
u = (LOG(af / am)) / LOG(wpf / wpm)
aPM = af / (wpf ^ u)
LOCATE 7, 43: PRINT USING "A (m2)=###.## x Pm"; aPM; : PRINT "^"; : PRINT USING "###.##"; u
PUT #4, 15, aPM: PUT #4, 16, u

c2 = (3 * sig2) / (5 * sig2 - 2 * g2)
c1 = sig1 * (((g1 ^ .67) / (sig1 ^ 1.67)) ^ c2)
A0 = c1 * ((Q0 * Nm) / (60 * (s1 ^ .5))) ^ c2

1800 'Calculo da Equa. de avanco*****
Flm = comp(sulco):
r = (LOG(Flm / Xm)) / LOG(tf / tm): p = (Flm / (tf ^ r))

1810 Vf = (Q0 * tf) / Flm - (.7 * A0)
Vm = (Q0 * tm) / Xm - (.7 * A0)
IF y1 = 0 THEN 1815
Vf = (Q0 * tf) / Flm - (Sttl)
Vm = (Q0 * tm) / Xm - (Sm)

1815 a = (LOG(Vf / Vm)) / (LOG(tf / tm))
Sz = (a + r * (1 - a) + 1) / ((1 + a) * (1 + r))
k = Vf / (Sz * (tf ^ a))
ki = k * a: Ai = a - 1
FOR J = 5 TO 100: zz = ki * J ^ Ai: IF zz < .0005 THEN 1816
NEXT J
1816 G = (k * J ^ a) / (fmm / 1000)

1820 LOCATE 10, 23: PUT #4, 17, k: PUT #4, 18, a
PRINT USING "Z (m/min)=###.#### x t"; k; : PRINT "^"; : PRINT USING "###.####"; a
LOCATE 19, 4: PRINT "<3> usar outra equa. Eo"
LOCATE 15, 4: PRINT USING "Dota. o Recomendada =###.## mm"; G * 1000;
LOCATE 17, 4: PRINT "<1> Outro valor"
LOCATE 18, 4: PRINT "<2> Aceita este"

FOR w = 1 TO 100000: iN$ = INKEY$: LOCATE 23, 60: PRINT USING "###.##"; (100000 - w) / 1000
IF iN$ = "1" THEN GOTO 4000
IF iN$ = "2" THEN GOTO 1850
IF iN$ = "3" THEN LOCATE 17, 30: INPUT "k= "; k: LOCATE 18, 30: INPUT "A="; a
NEXT w
1850 PUT #4, 19, G: CLOSE #4

GOTO 2000
1900 VIEW (150, 166)-(450, 371), 0, 4
LINE (280, 180)-(280, 180)
FOR i = 1 TO 12: DRAW "L20 D3 U3": NEXT i
FOR i = 1 TO 7: DRAW "U20 L3 R3": NEXT i
FOR i = 1 TO 120 STEP .5
J = 2 * (1000 * k * i ^ a) / (fmm / 1000)
LINE (i * 2 + 40, 180 - J)-(i * 2 + 40, 180 - J), 10
NEXT i
LOCATE 13, 20: PRINT "Z,mm": LOCATE 16, 22: PRINT "50"
LOCATE 23, 37: PRINT "50 100 min.";

2000 REM VIEW (23, 50)-(615, 400), 0, 0
tInt = tf: 'Rutina de Simula. o do avan. o*****
ij = 6: OPEN lastfile$ FOR RANDOM AS #4
CLS: LOCATE 5, 41: PRINT " Sulco, H.Inicio, T.avan. o, Hz"

```

```

2040 Vinfttl = 0: Qttl = 0: Vsupttl = 0: Posi = 0:
    ap = aPM ^ (-5 / (5 * u - 2)): c4 = 3 / (5 * u - 2)
    av = aPM ^ (2 / (5 * u - 2)): c6 = -(3 * u) / (5 * u - 2)
    aa = aPM ^ (-2 / (5 * u - 2)): c8 = (3 * u) / (5 * u - 2)
    adv = orifice
    Qs(1) = Q(orifice) / 1000: Qss = Q(orifice) / 1000
    WetPmax = ap * (Qs(1) * Nm / (60 * (s1 ^ .5))) ^ c4

REM ROTINA PRINCIPAL DE AVANÇO NO SULCO
2050 FOR inc = 1 TO tinc: Vinf(inc) = 0: NEXT inc
    apontador = sulco + 1: ttotl = tlnt

    FOR tinc = 1 TO 500
        in$ = INKEY$: IF in$ = CHR$(27) THEN 6200
        WetPmin = (Nm - .04) * 4: IF Nm <= .04 THEN WetPmin = 0
        IF tlnt = 0 THEN PRINT "OOOOPS: GOTO 2300"

        IF INT(tinc) <> INT(ttotl) THEN 2055
        ttotl = ttotl + tlnt(apontador)
        apontador = apontador + 1: IF apontador > ult THEN GOTO 2300
        adv = adv - 1: Qss = Q(adv) / 1000
        IF Qss = 0 THEN 2300

2055 Vel = av * Qs(tinc) * (Qs(tinc) * Nm / (60 * (s1 ^ .5))) ^ c6: 'assim Vel vem em m/min
2060 Esp(tinc) = Vel: Posi = Posi + Vel: Vinfl = 0
        WetPm = WetPmin + ap * (Qs(tinc) * Nm / (60 * (s1 ^ .5))) ^ c4
        IF Posi > Flm THEN 2100
        IF Vel < .001 THEN 2300

        J = 0: FOR inc = 1 TO tinc
2070 Vinf = Esp(inc) * ki * ((tinc - inc + 1) ^ Ai): ' * (WetPm / WetPmax)
            Vinf(inc) = Vinf + Vinf(inc)
            J = J + Esp(inc)
            Vinfl = Vinfl + Vinf
        NEXT inc
        IF pmi$ = "" THEN Vinfl = Vinfl * (WetPm / WetPmax)

2075 Vsup = Esp(tinc) * aPM * (WetPm ^ u): LOCATE 4, 5
        Vsupttl = Vsupttl + Vsup
        Qttl = Qttl + Qss
        Vinfttl = Vinfttl + Vinfl
        Qs(tinc + 1) = (Qttr - Vinfttl - Vsupttl) / (tinc + 1)

2080 IF Qs(tinc + 1) > 0 THEN GOTO 2090
        Posi = Posi - Vel: Vel = Vel * .9
        Vinfttl = Vinfttl - Vinfl: Qttr = Qttr - Qss
        Vsupttl = Vsupttl - Vsup: Vsupttl = Vsupttl * .995
        in$ = INKEY$: IF in$ = CHR$(27) THEN 6200
        GOTO 2060

2090 IF mostrar$ = "Nao" THEN 2095
        LOCATE 10, 2: PRINT USING "Sulco   ### Comprimento ###.##m"; sulco; Flm
        LOCATE 12, 2: PRINT USING "tempo= ###min Posicao= ###.##m"; tinc; Posi
        LOCATE 13, 2: PRINT USING "Qttr = ##.###m3"; Qttr
        LOCATE 14, 2: PRINT USING "Vinfttl= ##.### Vsupttl= ##.###"; Vinfttl; Vsupttl
        LOCATE 15, 2: PRINT USING "Qs(tinc)=.##### Qss=   .#####"; Qs(tinc); Qss
        LOCATE 16, 2: PRINT USING "Pm =   .###m Vel(m/min)= ##.###"; WetPm; Vel;

2095 NEXT tinc

REM DETERMINAÇÃO DO COEF DE RUGOSIDADE *****
2100 IF inf$ = "ok" THEN 2200
    IF sentido$ = "ok" THEN 2150

```

```

LOCATE 5, 2: PRINT USING "Nm= ###.## -"; Nm: : PRINT " Acertando o N de Manning"
IF tinc > 1.04 * tf AND sentido$ = "aumentar" THEN Nm = Nm - .0025: sentido$ = "ok": GOTO 2040
IF tinc < .96 * tf AND sentido$ = "diminuir" THEN Nm = Nm + .0025: sentido$ = "ok": GOTO 2040
IF tinc > 1.04 * tf THEN sentido$ = "diminuir": Nm = Nm - .005: GOTO 2040
IF tinc < .96 * tf THEN sentido$ = "aumentar": Nm = Nm + .005: GOTO 2040

2150 CLS : LOCATE 5, 2: PRINT USING "Sulco controlo = ### Nm = ###.## "; sulco; Nm: PUT #4, 22, Nm
IF zc < 0 THEN zc = 0: Flm = comp(sulco): inf$ = "ok": GOTO 2040

REM rotina principal de determina#o dos tempos de infiltra#o*****
2200 Tinf = ((G * fmm / (1000 * k)) ^ (1 / a)) / (orifice - 1)

REM Estas linhas permitem poupar tempo de rega em sulcos muito pequenos intercalados
IF inf$ = "ok" THEN temtl = 0: FOR i = 1 TO orifice - 2: temtl = temtl + tInt(sulco + i): NEXT i
IF temtl < inc + 10 THEN 2210
Tinf = 0
tInt = .5

2210 tInt(sulco) = tInt
t(sulco) = tInt + Tinf

IF inf$ < "ok" THEN tc(sulco) = 0
LOCATE 5, 40: PRINT "Sulco t.avanco t.des.emb comp.Sulc"
LOCATE 6, 2: PRINT USING "temp.nec.p/infiltrar ###mm= ###.##min"; G * 1000; Tinf * (orifice - 1): N4 = Tinf *
(orifice - 1): PUT #4, 23, N4
LOCATE ij, 43: ij = ij + 1: IF ij = 21 THEN ij = 7
PRINT USING "###.##.##.##.##.##"; sulco; tinc; t(sulco); comp(sulco)
LOCATE 18, 2: PRINT "
LOCATE 19, 2: PRINT "

REM mudan#a de sulco a ser calculado*****
IF inf$ < "ok" THEN sulco = ult
sulco = sulco - 1
IF sulco = pntr THEN 6000
Flm = comp(sulco): inf$ = "ok"

REM GESTAO 2#SULCO CONTROLO*****
FOR zc = 1 TO cntrl: IF sulco = cont(zc) THEN 2250
NEXT zc

REM Selec#o do 1# tInt.
tInt = INT(tinc / (orifice - 1)): zc = 0: GOTO 2040
2250 LOCATE 24, 2: INPUT "T. avanco ate posicao controlo"; tf
inf$ = "": sentido$ = "": Flm = cx(zc): GOTO 2040

REM SELEC#O INTERVALO ENTRE ORIF#CIOS
2300 LOCATE 23, 2: IF Posi >= Flm THEN 2200
LOCATE 18, 2: PRINT "O Intervalo entre 2 orificios passa"
tInt = tInt + 1: LOCATE 19, 2: PRINT USING "para ###.## minutos"; tInt;
iN$ = INKEY$: IF iN$ = CHR$(27) THEN 6200
GOTO 2040

REM Rotina de Detec#o do avan#o *****
3000 alcancar = 1: COM(1) OFF: RETURN
3010 tmrele = TIMER: RETURN
3020 INPUT #5, zx: PRINT zx
PRINT TIMER - inicio: i = 1: RETURN

REM Rotina da selec#o da dota#o *****
4000 LOCATE 20, 2: INPUT "Dota#o pretendida, mm "; G: G = G / 1000
Tinf = ((G * fmm / (1000 * k)) ^ (1 / a)) / (orifice - 1)

```



```

LOCATE 20, 2: PRINT USING "tempo nec. p/infiltrar ##mm=###.##min "; G * 1000; Tinf * (orifice - 1); N4 =
Tinf * (orifice - 1)
LOCATE 21, 2: INPUT "Concorda <1> -sim, <0> - n/Eo "; sn$
LOCATE 21, 2: PRINT "
IF sn$ = "0" THEN 4000
GOTO 1850

REM ANDAMENTO DO EMBOLO *****
5000 andar = TIMER: OUT &H378, 255
LOCATE 3, 2: PRINT "Embolo deslocando-se para o sulco "; embolo;
5001 time = TIMER
raiobob = raiobob2 + ((raiobob1 - raiobob2) * (180 - embolo) / 170)
IF time < andar THEN andar = andar - 86400
IF time <= (andar + 9.678 * (dis(embolo) / (2 * 3.14 * raiobob)) * coefm) THEN 5001
OUT &H378, 0: LOCATE 6, 2: LOCATE 5, 2: PRINT "
RETURN

REM ROTINA DE DETERMINAÇÃO DAS HORAS DO ANDAMENTO EMBOLO *****
6000 CLS : time = TIMER: hh = INT(time / 3600): mm = INT((time - hh * 3600) / 60)
ij = 7: LOCATE 6, 47: PRINT "Sulco hora inicio tempo total"
FOR i = pntr + 1 TO ult
tc(i) = tcold + t(i)
hh = hh + INT((t(i) + mm) / 60): mm = mm + t(i) - 60 * INT((t(i) + mm) / 60)
LOCATE ij, 46: ij = ij + 1: IF ij = 21 THEN ij = 7
PRINT USING " ### ##.## ###"; i; hh; mm; tc(i)
PUT #4, 30 + i, t(i): PUT #4, 28, i: PUT #4, 27, ult
tcold = tc(i)
NEXT i

REM CONTROLO DA REGA - tempo em minutos*****
GOSUB 5000
CLS
6040 LOCATE 12, 5: PRINT "Controlo da Rega": hora0 = TIMER / 60
LOCATE 21, 5: PRINT USING "Dotacao media efectiva desta rega ##.## mm"; (tf + tc(ult)) * Caudal * 1000 / (area
* fmm)

6050 LOCATE 16, 5: PRINT "Premir <0> para acabar a rega e sair"
LOCATE 17, 5: PRINT "Premir <1> Para avancar o embolo manualmente"
LOCATE 18, 5: PRINT "Premir <2> Para afinar velocidade "
LOCATE 19, 5: PRINT "Premir <3> para mudar o sulco sendo regado"
REM LOCATE 20, 5: PRINT "hora zero = "; INT(hora0 / 60); ":", INT(hora0 - INT(hora0 / 60) * 60)
time = TIMER: h2 = INT(time / 3600): m2 = INT((time - h2 * 3600) / 60)
mudar = tc(embolo)
IF TIMER <= 600 THEN hr24 = 1440: REM SE PASSA DA MEIA NOITE, REDUZ 24 horas NAS HORAS DA
REGA
IF time / 60 < mudar + hora0 - hr24 THEN 6100

REM MUDANÇA DE SULCO*****
pntr = pntr + 1
embolo = sulc(pntr):
IF embolo = ult THEN 6200
iN$ = INKEY$
IF iN$ = "0" THEN 6200
IF iN$ = "1" THEN GOSUB 6120
IF iN$ = "2" THEN GOSUB 6130
IF iN$ = "3" THEN GOSUB 6150
GOSUB 5000: PUT #4, 29, embolo

6100 LOCATE 3, 35: PRINT USING "Hora ###.##"; h2; m2;
LOCATE 4, 30: PRINT USING "Sulco sendo regado:###"; embolo
IF iN$ = "0" THEN 6200
iN$ = INKEY$: IF iN$ = "1" THEN GOSUB 6120
horam = tc(embolo) + hora0: LOCATE 6, 27: PRINT "Hora mudança sulco "; INT(horam / 60) - hr24 / 60; ":",
INT(horam - INT(horam / 60) * 60)

```

```

IF iN$ = "2" THEN GOSUB 6130
IF iN$ = "3" THEN GOSUB 6150
fimrega = tc(ult) + hora0: IF fimrega > 1440 THEN manha$ = "amanha": fimrega = fimrega - 1440
Fimregah = INT(fimrega / 60): Fimregam = INT(fimrega - (Fimregah * 60))
LOCATE 5, 26: PRINT "A rega acaba "; manha$, " ...s "; Fimregah, ":", Fimregam
GOTO 6050

```

REM MENU Avanço manual

6120 CLS

LOCATE 12, 4: PRINT "1 para avançar"

OUT &H378, 255: LOCATE 12, 4: PRINT "Avanço Manual do embolo"

6121 FOR www = 1 TO 9000: NEXT www

zzz\$ = "": zzz\$ = INKEY\$

FOR www = 1 TO 9000: NEXT www

IF zzz\$ = "1" THEN 6121

OUT &H378, 0: LOCATE 12, 4: PRINT "

6125 RETURN

REM ACELERAR-ABRANDAR MOTOR

6130 LOCATE 12, 4: INPUT "introduzir coef. motor (1= normal <1 abrandar, > 1 acelera": coefm

LOCATE 12, 4: PRINT "": RETURN

REM RECUPERAÇÃO DA REGA APÓS FALHA ENERGIA

6140 CLS : GET #4, 28, sulco: GET #4, 29, embolo: pntr = embolo

FOR i = 1 TO sulco: GET #4, i + 30, t(i): NEXT i

hora0 = TIMER / 60: tc(embolo - 1) = 0

FOR i = embolo TO ult: tc(i) = tc(i - 1) + t(i)

LOCATE ij, 46: ij = ij + 1: IF ij = 21 THEN ij = 7: PRINT i, t(i), tc(i)

NEXT i: GOTO 6040

REM SELEÇÃO SULCO EM REGA

6150 LOCATE 12, 4: INPUT "Começar em que sulco "; pntr

embolo = sulc(pntr): LOCATE 12, 4: PRINT embolo: INPUT "ok (s/n)

LOCATE 12, 4: PRINT "

hora0 = (TIMER / 60) - tc(embolo - 1):

RETURN

": sn\$: IF sn\$ = "n" THEN 6150

6200 PRINT "Acabar": CLOSE #4: STOP

Anexo 4.4 Procedimento para o cálculo dos caudais debitados pelos orifícios do Cabo-rega

A capacidade de transporte do tubo, Q_t em l min^{-1} , é determinada através da equação de Hazen-Williams:

$$Q_t = C \cdot \left(\frac{D_i^{4,865} \cdot S}{6077145} \right)^{0,54054} \quad (\text{A4.1})$$

sendo,

D_i - diâmetro interno do tubo, mm;
 C - coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams;
 S - declive do tubo, m.m^{-1} .

Em seguida o programa calcula a fracção do tubo realmente utilizado P , para se poder otimizar o diâmetro do mesmo:

$$P = \frac{Q}{Q_t} \quad (\text{A.4.2})$$

sendo,

Q - caudal admitido no Cabo-rega, l.min^{-1} .

A pressão máxima no tubo H , em mm, é determinada por:

$$H = 13,8 \cdot D_i \cdot \left(\frac{C}{150} \right)^{,76} \cdot S^{1,03} \cdot \left(\frac{Q}{Q_t} \right)^{,46} \cdot \left(\frac{Fmm \cdot D_i}{D^2} \right)^{,56} \quad (\text{A.4.3})$$

sendo,

Fmm - distância entre os orifícios, mm;
 D - diâmetro equivalente das janelas, mm.

O caudal debitado por cada orifício Q_o , em l.min^{-1} , é dado por:

$$Q_o = 0,0066 \cdot C_d \cdot D^2 \cdot \sqrt{h} \quad (\text{A.4.4})$$

sendo,

h - carga piezométrica no orifício, mm.
 C_d - coeficiente de descarga, normalmente 0,65

Embora normalmente se considere o valor de C_d constante, verifica-se que este depende da velocidade do fluxo no tubo e da carga piezométrica. Nos sistemas cabo-rega, as condições de fluxo próximos do embolo são baixa velocidade combinado altas pressões. Mais acima no tubo, a velocidade gradualmente aumenta a medida que a carga piezométrica se aproxima do zero. Assim, torna-se útil considerar o valor de C_{do} , que é valor máximo constante do C_d , a medida que a velocidade de água no tubo se aproxima de zero.

$$\frac{C_d}{C_{do}} = 1 - \frac{0,28}{0,40 - h_r} \quad (\text{A.4.5})$$

Em que o parâmetro adimensional h_r é a razão entre a carga piezométrica e a velocidade no tubo

$$h_r = \frac{h}{\frac{v^2}{2g}} \quad (\text{A.4.6})$$

A diferença entre as cargas piezométricas de dois orifícios adjacentes é determinada através da seguinte equação:

$$h_{i+1} = h_i + S \cdot Fmm - h_f - h_o + \frac{(v_i^2 - v_{i+1}^2)}{2 \cdot g} \quad (\text{A.4.7})$$

onde

- h_{i+1} - carga piezométrica no orifício $i+1$, mm
- h_i - carga piezométrica no orifício i , mm
- h_f - perda de carga devido à fricção no tubo, mm
- h_o - perda de carga devido à ramificação no orifício i , mm
- v_i - velocidade no tubo imediatamente acima do orifício i , m seg⁻¹.
- v_{i+1} - velocidade de água no tubo imediatamente acima do orifício $i+1$, m seg⁻¹.

No caso de tubo janelado, em que os caudais debitados por cada janela são normalmente uma pequena fracção do caudal total no tubo, as perdas de carga devido à ramificação no orifício, h_o , pode ser desprezado. As perdas de carga devido à fricção no tubo são determinadas através da equação de Hazen-Williams

$$h_f = 6,08 \cdot 10^6 \frac{Fmm}{D_i^{4,856}} \left(\frac{Q_d}{C} \right)^{1,85} \quad (\text{A.4.8})$$

onde

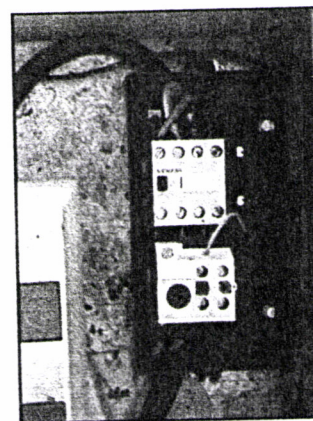
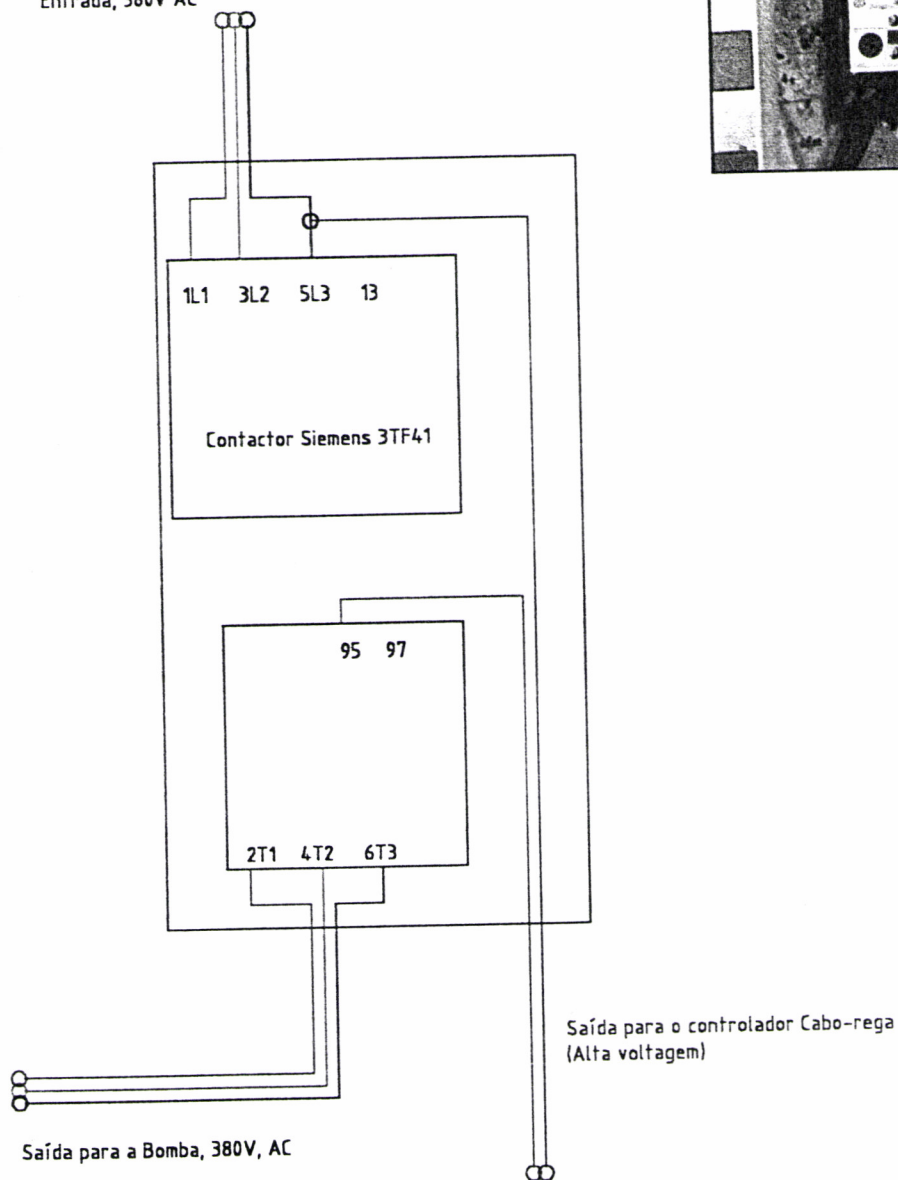
Q_d - Caudal disponível no tubo no ponto considerado, l.min^{-1} .

A velocidade no tubo pode ser determinada através da seguinte equação:

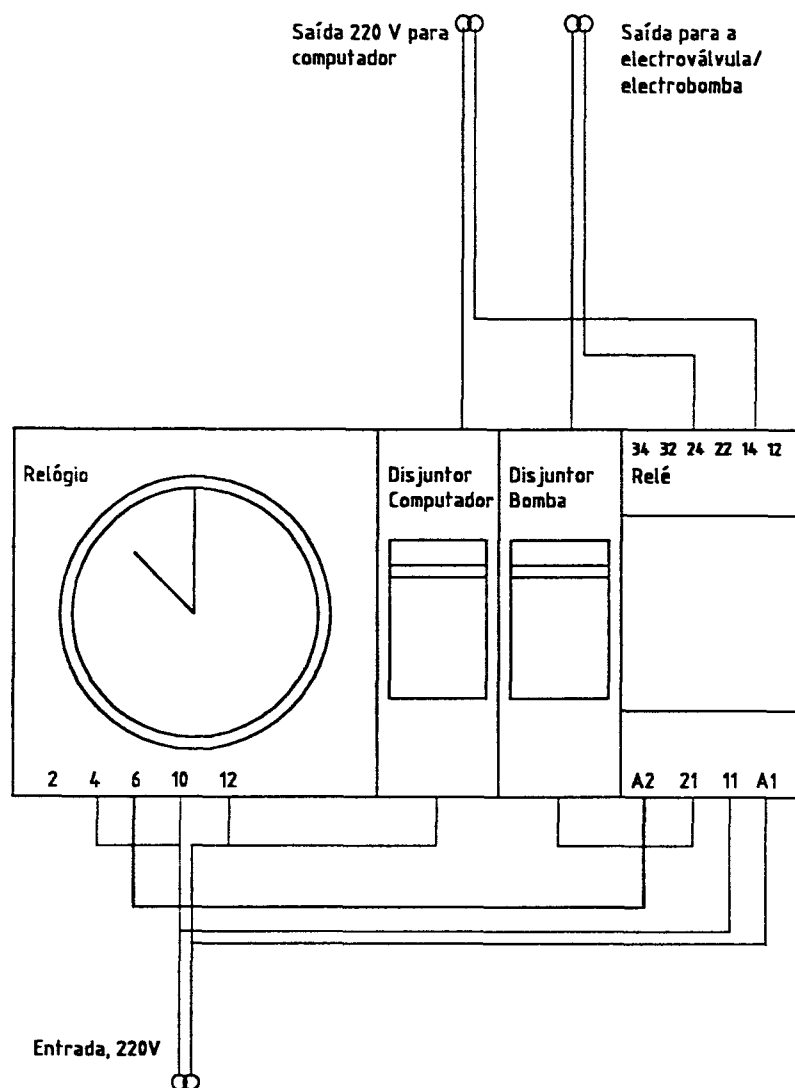
$$V = \frac{Q_d^2 \cdot 22939}{D_i} \quad (\text{A.4.9})$$

Kemper *et al.* (1992) observaram que num sistema com desvios de ± 3 cm em relação à cota pretendido, os caudais debitados pelos orifícios estavam a $\pm 13\%$ dos previstos. Por outro lado verificaram que 80% dos desvios dos caudais debitados em relação aos calculados se deviam à irregularidades na cota do tubo.

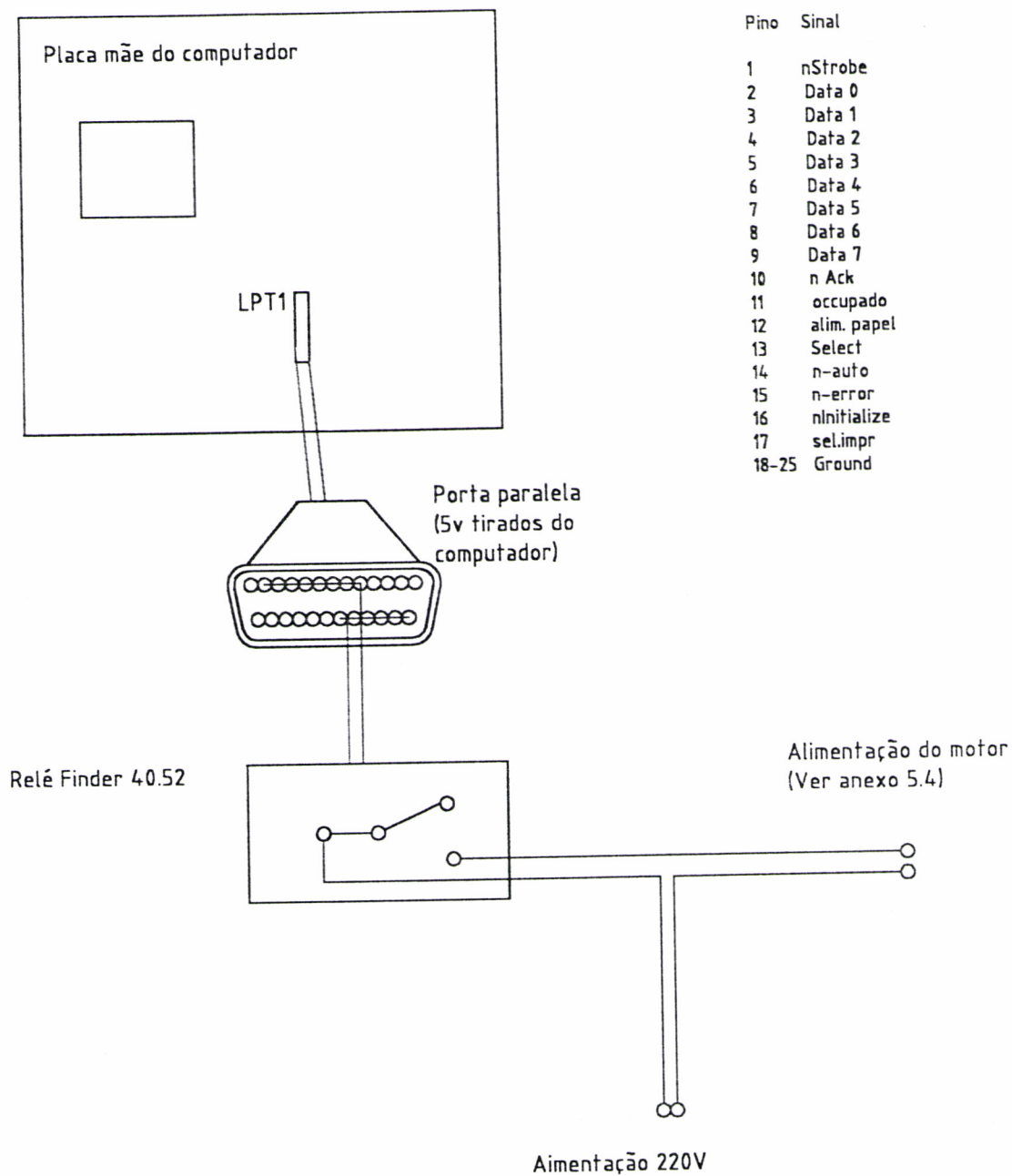
Entrada, 380V AC



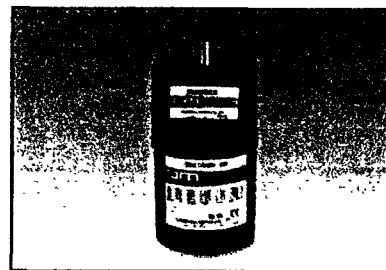
			Anexo 5.1	Shakib Shahidian
	Esquema de ligação do Contactor com comando a partir do quadro do CaboGest			



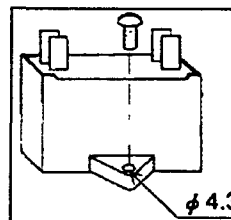
			Anexo 5.2	Shakib Shahidian			
	Esquema da Ligação eléctrica no quadro do CaboGest						



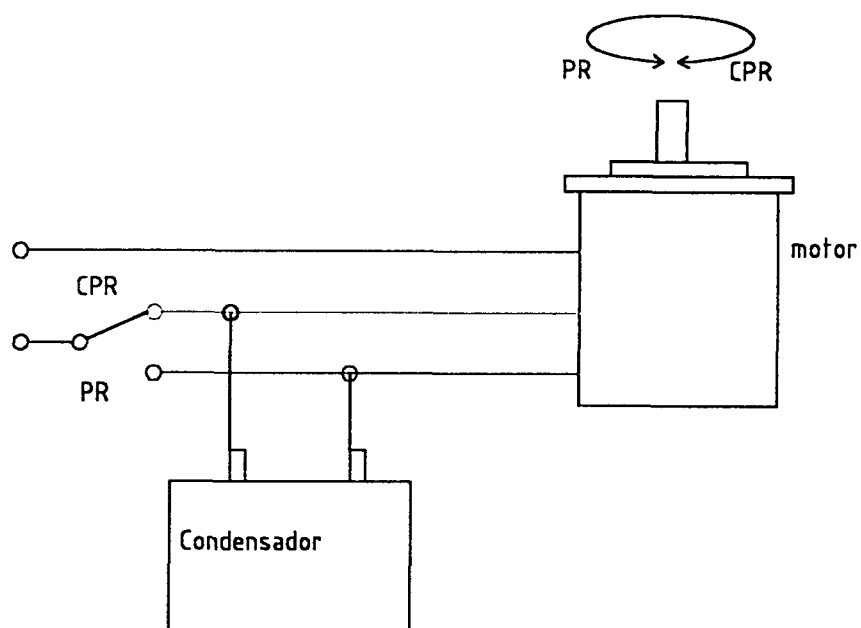
			Anexo 5.3	Shakib Shahidian
	CaboGest 220V- Esquema de ligação do relé à porta paralela LPT1			



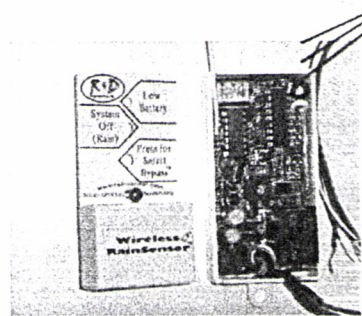
Motor OM 4GN25K



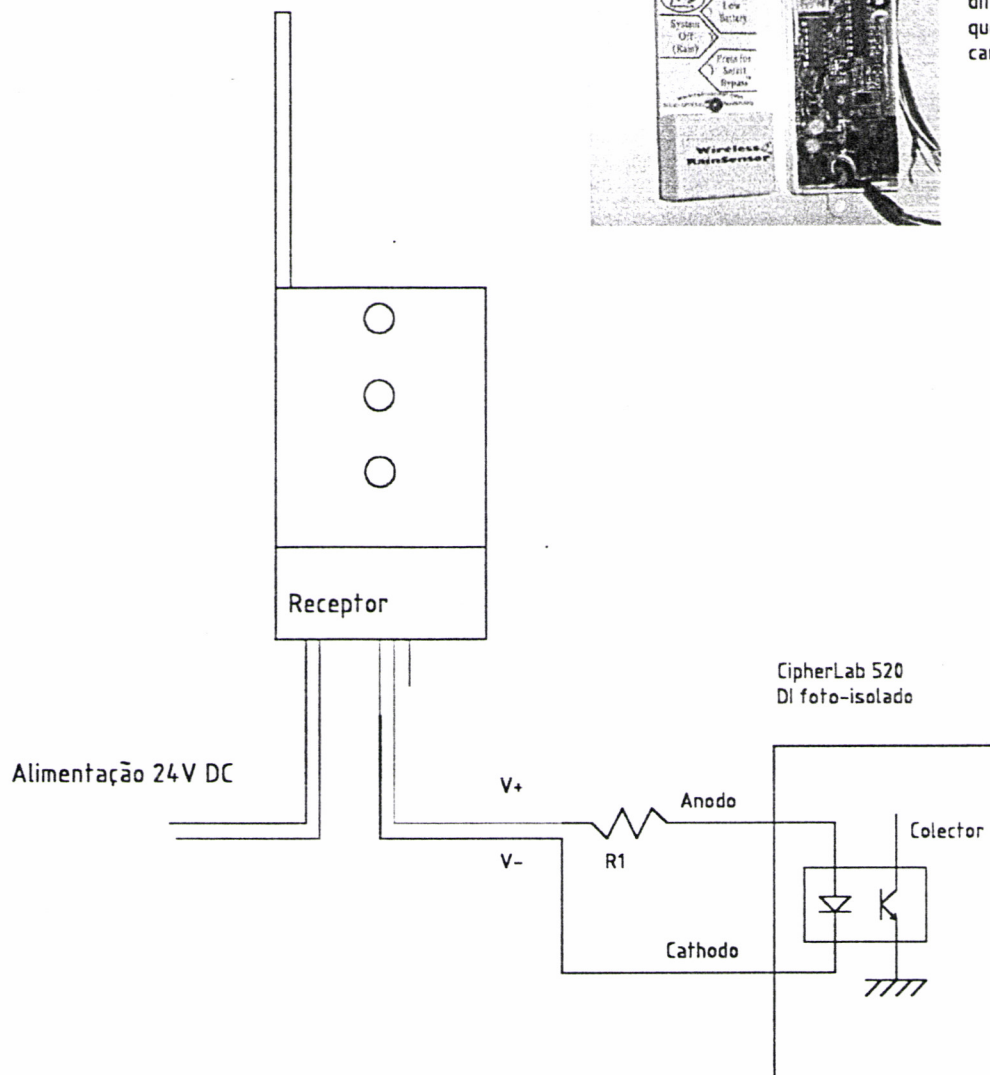
Condensador do motor OM



			Anexo 5.4	Shakib Shahidian
	Esquema de ligação do condensador dos motores Oriental Motors, 4/5 GNK			



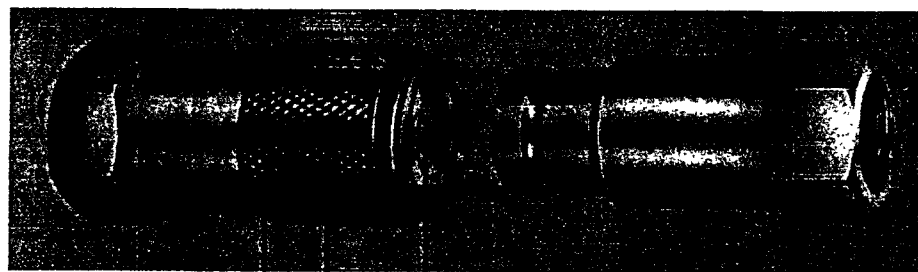
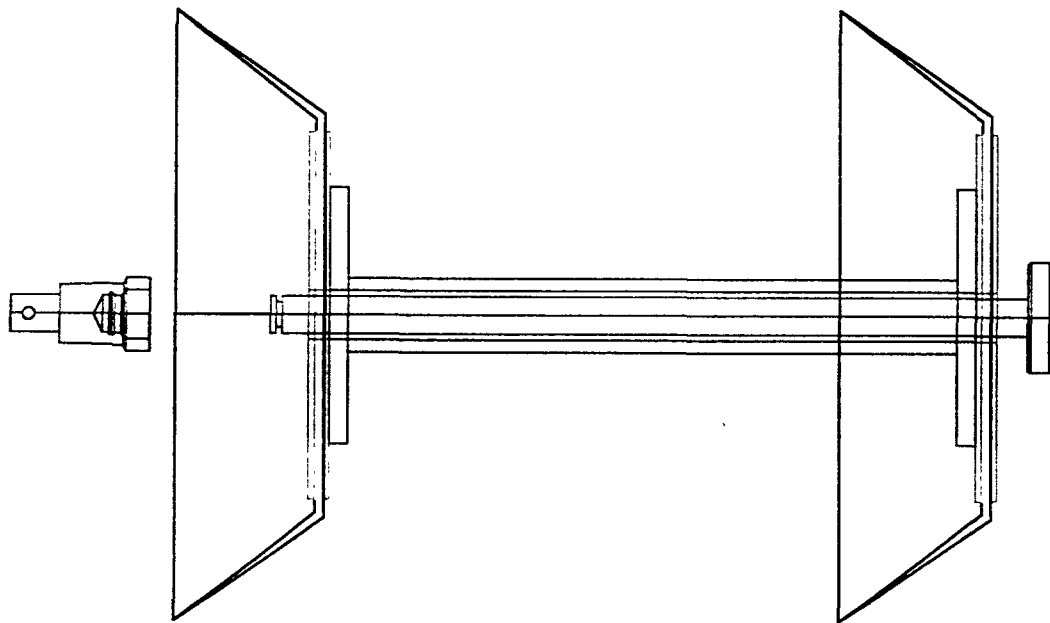
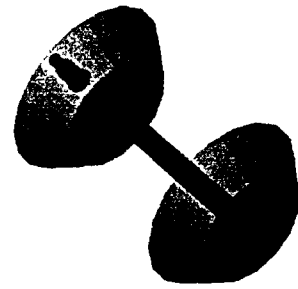
Estes xantos definem o código de transmissão. A sua localização deve ser diferente nos conjuntos que operam no mesmo campo



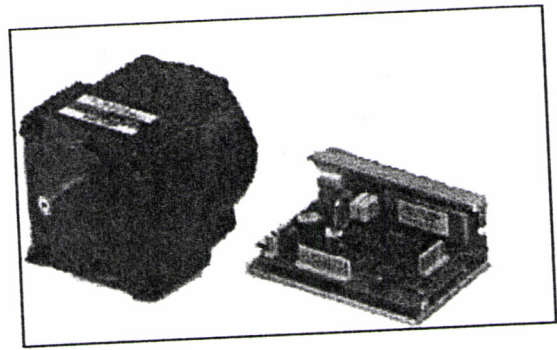
Cálculo da Resistência do R1
 $(V+ - V- - V_f) / (R1 + R_{relé}) \leq 1\text{ma}$

onde
 Vf é a corrente do LED e é 1.15V
 V+ será os 12V da bateria
 Rrelé será considerado 100hm

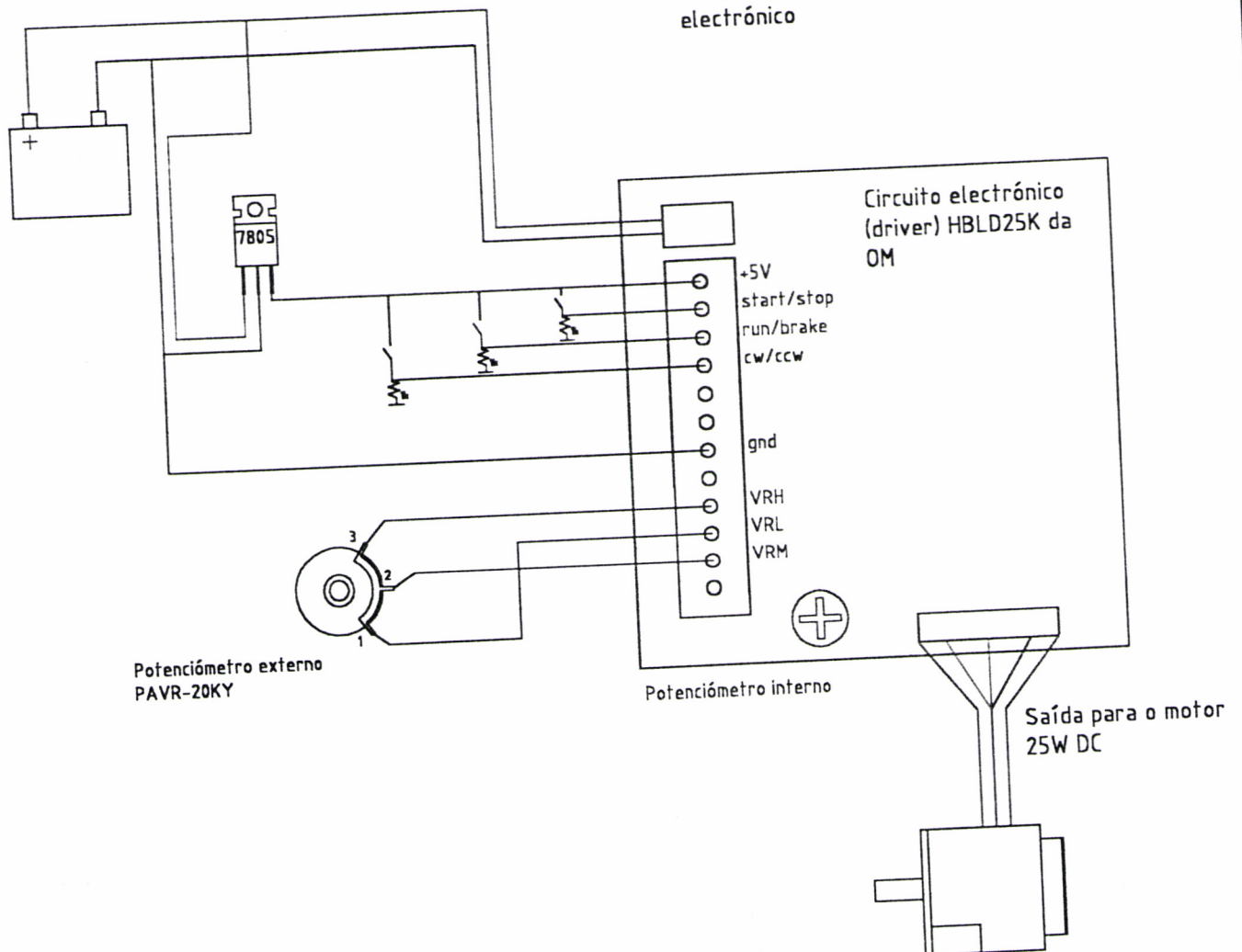
			Anexo 5.5	Shakib Shahidian						
	Esquema da ligação eléctrica do Rainsensor ao CipherLab 520									



			Anexo 5.6	Shakib Shahidian				
	Êmbolo tipo auto-solta e o acoplamento hidráulico utilizado							

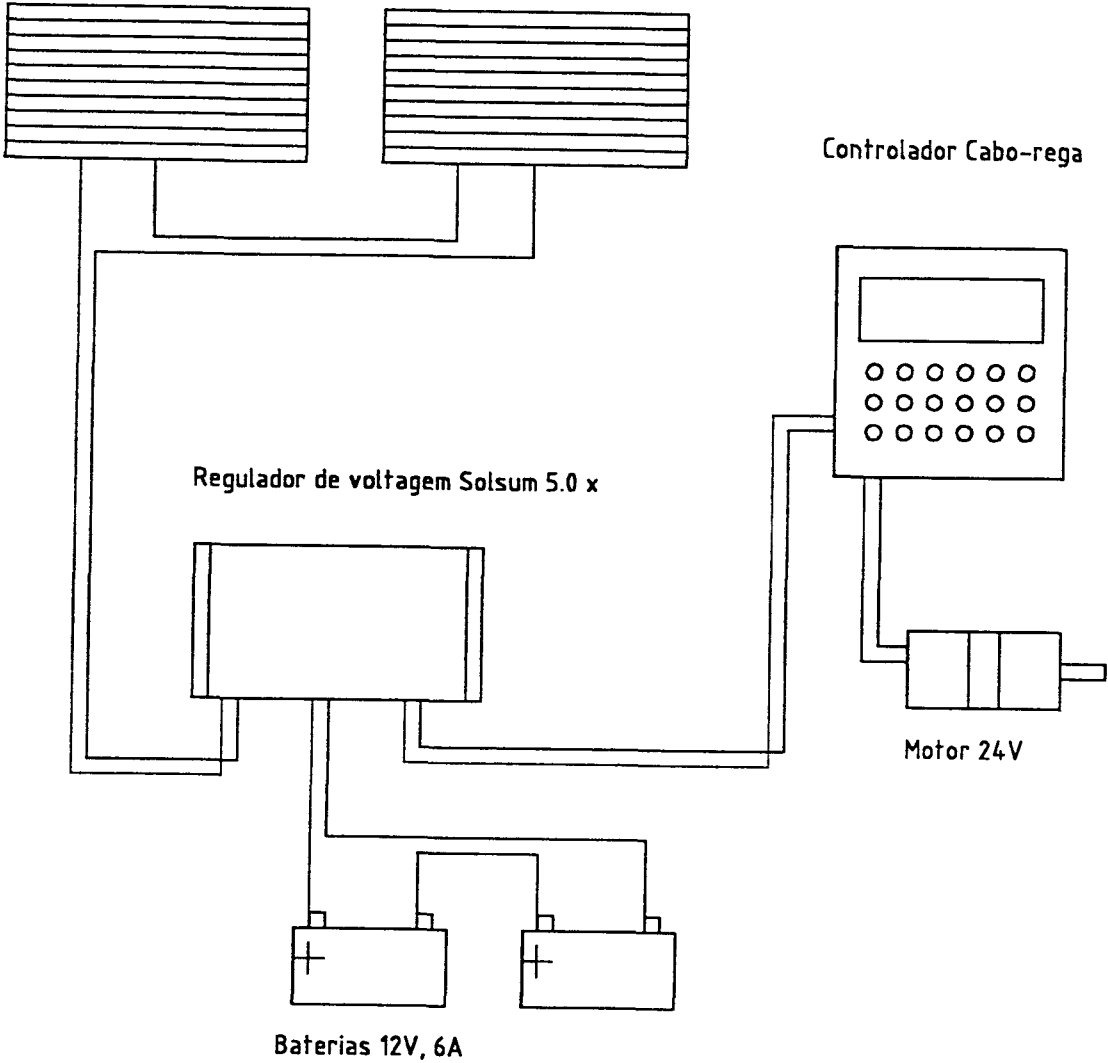
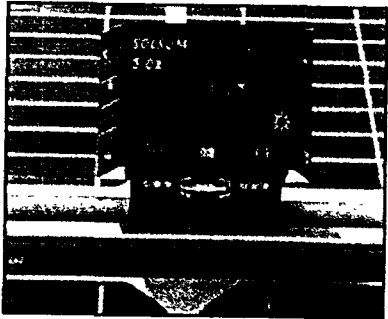


Entrada da fonte de
alimentação 24V



			Anexo 5.7	Shakib Shahidian
	Esquema de ligações do circuito electrónico do motor HBL425-GN de 25W, DC			

Paineis Foto-voltaicos 12V

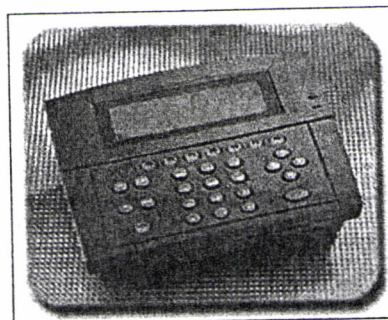


			Anexo 5.8	Shakib Shahidian
	Esquema da ligação eléctrica do Regulador de voltagem			

Anexo 5.9 Características do programador Cipher Lab 520

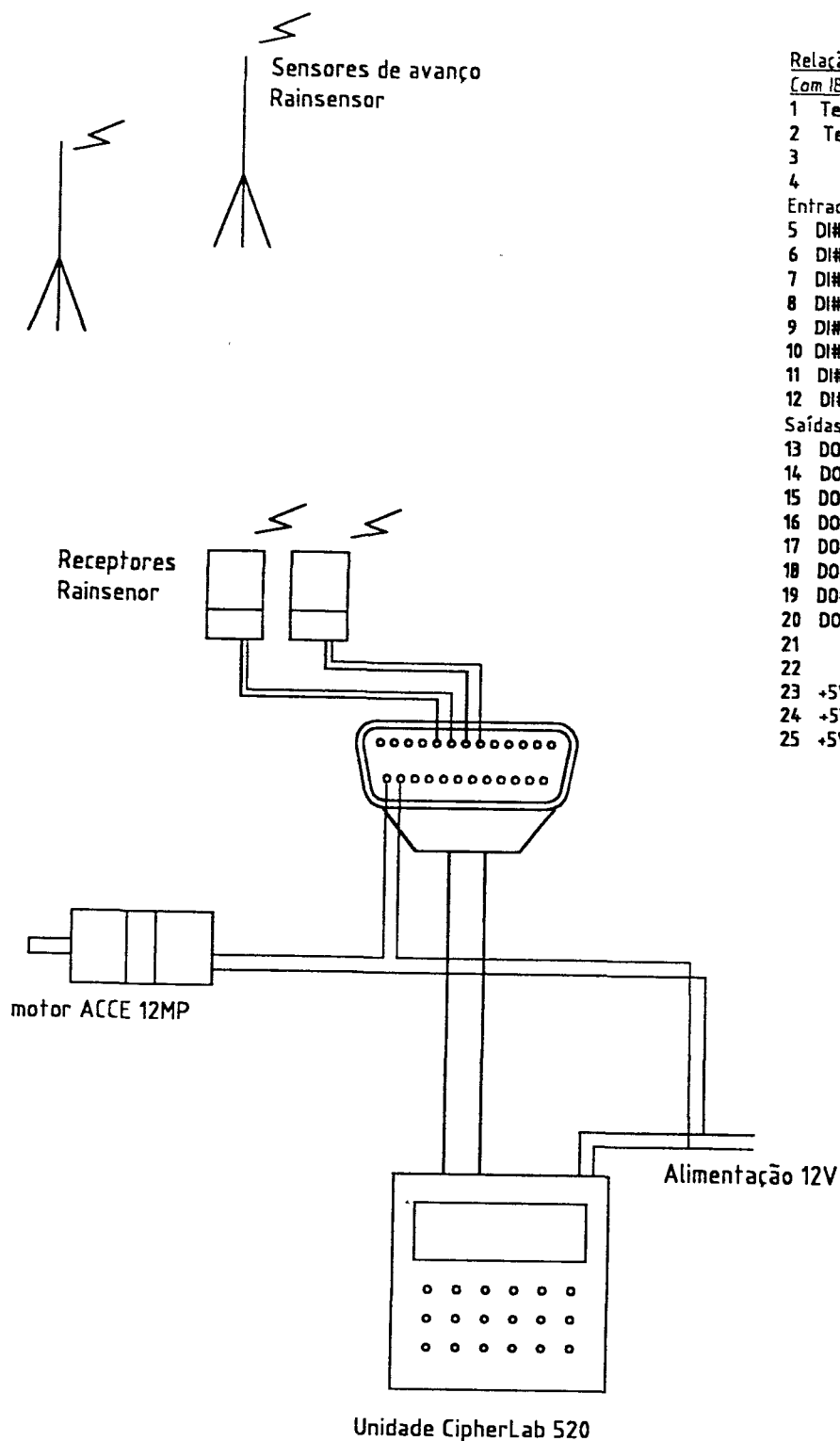
Terminal Fixo 520

Características



Especificações

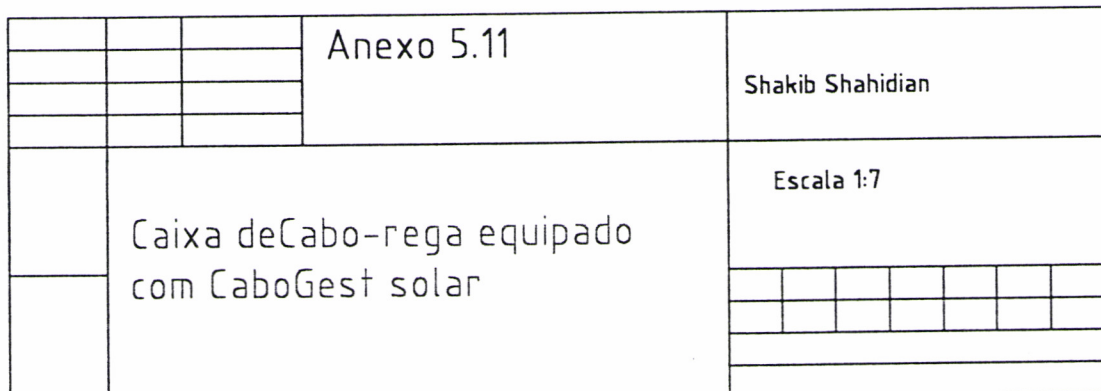
Eléctricas	Voltagem	12V +/- 5% DC
	Consumo	0,5W max, com a retro-iluminação do LCD desligado
Ambiente	Tem. funcionamento	0°C - 50°C
	Hum. funcionamento	20% - 90%
Físicas	Peso	1Kg
	Cor	Cinzeno escuro
	Material	ABS
Indicadores	Altifalante	Altifalante c/ controlo volume, programável Saída para altifalante externo
	Écran LCD	Écran LCD gráfico com 240 por 64 pixels retro-iluminado
	LED	2 LED's programáveis
Memória	Mem Programa	512 KB flash memory
	Mem Dados	128 KB SRAM na placa mãe
	Processador	TLCS-900 16 bit CPU funcionando a 14.7 MHz
Entrada/Saída	Digitais	4 entradas digitais opticamente isoladas 4 relés de saída tipo Tamakashi H5Y
	Teclado	teclado de borracha com 8x 8 teclas e 16 LED's
	Teclado externo	conectro mini-DIN p/ teclado PS/2
	Portas	COM1 e COM2 são configuráveis como RS232 ou RS485 (half e full duplex) ou 20mA current loop ou ainda intranet (TCP/IP)
		1x RS232
Calendário		Chip de calendário ajustável
Baterias		bateria 3,6V, 60mAh para memória e calendário Circuito de fecho automático para evitar descarregar totalmente as baterias
Programação	Linguagens	Pode ser configurado com assembler para BASIC ou linguagem C. Os programas são descarregados via porta RS232, utilizando para o efeito um compilador próprio



Relação dos Pinos do DIO do CipherLab 520
Com 1803- Photo-isolated inputs

- 1 Terra
- 2 Terra
- 3
- 4
- Entradas photo-isoladas
- 5 DI#1 Anode
- 6 DI#1 Cathode
- 7 DI#2 Anode
- 8 DI#2 Cathode
- 9 DI#3 Anode
- 10 DI#3 Cathode
- 11 DI#4 Anode
- 12 DI#4 Cathode
- Saídas Relé
- 13 DO#1 Contacto 1
- 14 DO#1 Contacto 2
- 15 DO#2 Contacto 1
- 16 DO#2 Contacto 2
- 17 DO#3 Contacto 1
- 18 DO#3 Contacto 2
- 19 DO#4 Contacto 1
- 20 DO#4 Contacto 2
- 21
- 22
- 23 +5V
- 24 +5V
- 25 +5V

			Anexo 5.10	Shakib Shahidian						
	Esquema de ligação eléctricas do CipherLab 520									



Anexo 6.1 Parâmetros relativos ao sistema e aos sulcos introduzidos no CaboGest

Parâmetro	ano		
	1997	1998	1999
Declive do tubo, m.m^{-1}	0,02	0,02	0,022
Rugosidade do tubo,	150	150	150
Caudal total, l.min^{-1}	600/480	600/486	600/540
Diâmetro interno do tubo, mm	194	194	194
Declive dos Sulcos, m.m^{-1}	0,002	0,002	0,002
Diâmetro Equivalente das janelas, mm	51/43/35/32	36/23	43/23
Factor de forma de armazenagem superficial (σ_y)	0,7	0,7	0,7
n de Manning inicial	0,04	0,04	0,04
Distância entre orifícios, mm	1500	1500	750
Localização do primeiro ponto, m	120	100	120
Localização do segundo ponto, m	247	220	220
Simulação considera o Pm na modelação	não	não	não
Pares de valores T,y do perfil médio do sulco	0.000, 0.00	0.000, 0.00	0.00, 0.00
	0.128, 0.01	0.070, 0.01	0.038, 0.01
	0.180, 0.02	0.100, 0.02	0.068, 0.02
	0.215, 0.03	0.123, 0.03	0.095, 0.03
	0.240, 0.04	0.159, 0.04	0.113, 0.04
	0.278, 0.05	0.202, 0.05	0.130, 0.05
	0.330, 0.06	0.232, 0.06	0.158, 0.06
		0.254, 0.07	
		0.284, 0.08	
		0.314, 0.09	
		0.341, 0.10	
		0.366, 0.11	
		0.389, 0.12	
		0.414, 0.14	
		0.439, 0.15	

Anexo 6.2.1 Caudais admitidos e excedentes da rega 1, 98

Excedentes

Excedentes								
HORA	M1	M2	M3	Bl. 1	M4	M5	M6	Bl. 2
16:41	0,4							
16:54	0,9							
16:56	0,8							
17:00	0,7	0,4						
17:11	0,4	0,8						
17:15	0,2	0,7						
17:28	0,1	0,4						
17:38	0	0,3	0,8					
17:51		0,1	0,9					
18:00			0,7					
18:10								
9:59					0,5			
10:00					0,6			
10:01					0,7			
10:05					0,8			
10:16					0,7			
10:23					0,7			
10:30					0,5			
10:32					0,5			
10:38					0,4			
10:41					0,4			
10:45					0,2	0,3		
10:50					0,1	0,6		
10:59					0,1	0,6		
11:00						0,6		
11:07						0,6		
11:13						0,4		
11:20						0,3	0,6	
11:27						0,2	0,9	
11:29						0,2	1	
11:32						0,1	1	
11:40							1	
11:46							1	
11:49							0,9	
11:52							0,7	
12:11							0,7	
12:16							0,7	
12:28							0,3	
12:31							0,2	

[illegible]

Admissão

HORA	M1	M2	M3	BL. 1	M4	M5	M6	BL. 2
14:44								
15:39	1,75							
15:50	1,61							
16:00	1,45	1,71						
16:18	1,37	1,67						
16:30	1,17	1,46						
16:37	0,9	1,22						
16:49	0,65	1,12						
16:57		0,93						
17:10		0,69						
17:22		0,57						
17:34								
9:56								
9:59						1,67		
10:08						1,59		
10:19						1,41		
10:30						1,29		
10:38						1,15		
10:50						0,93		
10:58						0,73		
11:08								
11:13								
11:23								

[illegible]

Anexo 6.2.2 Caudais admitidos e excedentes da rega 3, 98

Excedentes

[illegible]

Admissão

[illegible]

Anexo 6.2.3 Caudais admitidos e excedentes da rega 5, 98

Excedentes

HORA	M1	M2	M3	Bl. 1	M4	M5	M6	Bl. 2	HORA	M7	M8*	M9*	Bl. 3	M10	M11	M12	Bl. 4	M13	M14	M15
10:58								0,90	9:42	0,10										
11:07								0,7	10:23	0,40										
11:38	0,18								10:34	0,40										
11:59	0,30							0,20	10:58	0,40										
12:05	0,35	0,00		2,50					11:07	0,40										
12:27	0,32	0,35	0,00	4,00					11:19	0,35										
12:35	0,30	0,35	0,24	0,40					11:55	0,10										
12:44	0,30	0,30	0,30	0,40					12:05											
13:25	0,15	0,25	0,30	0,40					14:00								4,25			
14:01	0,10	0,20	0,28	3,50					14:23								4,50			
14:42	0,00	0,20	0,15	2,00					14:39					0,00			4,50			
15:01		0,00	0,10	0,80					14:54					0,24			4,50			
15:22			0,00	0,60	0,00	0	0		15:11					0,27			4,50			
16:00					0,40	0,40	1,40		15:15					0,27			4,00			
16:27					0,30	0,40	0,35	1,20	15:32					0,27	0,00		4,00			
17:05					0,10	0,30	0,50	2,60	15:34					0,27	0,20		4,00			
17:10					0,00	0,30	0,40	0	15:45					0,25	0,30	0,00	4,00			
17:20						0,10	0,30		16:01					0,20	0,30	0,24	4,00			
17:30							0		16:03					0,20	0,27	0,30	4,00			
									16:38					0,14	0,25	0,30	3,00			
									17:02					0,00	0,20	0,24	2,75			
									17:35						0,10	0,15	3,00			
									18:42						0,10	0,10	4,00	0,20		
									19:30						0,00	0,00	3,00	0,50	0,20	
									19:45								2,00	0,50	0,30	
									19:45									0,30	0,30	0,30
									19:56									0,10	0,40	0,30
									20:00										0,20	0,20
									20:20											

Admissão

M1	M2	M3	M4	M5	M6	JANEI	M7	M8	M9	10	11	12	13	14	15
9:29						8:57	0,87								
10:40	0,72					9:11	0,85								
11:00	0,71					9:25	0,82								
11:08	0,80	0,86				9:39	0,77								
11:23	0,71	0,80				9:53	0,72	0,93							
11:37	0,67	0,77	0,78			10:07	0,69	0,89							
11:52	0,66	0,75	0,77			10:21	0,69	0,87							
12:06	0,63	0,73	0,77			10:35	0,61	0,82	0,87						
12:21	0,61	0,70	0,74			10:49	0,53	0,76	0,83						
12:35	0,60	0,69	0,72			11:03	0,47	0,72	0,78						
12:49	0,57	0,67	0,68			11:17	0,40	0,65	0,73						
13:04	0,50	0,60	0,66			11:31	0,35	0,63	0,72						
13:19	0,42	0,55	0,58	0,83		11:45	0,24	0,59	0,67						
13:34	0,34	0,49	0,52	0,80		11:57		0,50	0,61						
13:49		0,39	0,45	0,71		12:09		0,47	0,55						
14:04		0,34	0,40	0,67		12:21		0,38	0,53						
14:19		0,22	0,31	0,62	0,84	12:37		0,32	0,47						
14:34			0,24	0,62	0,81	12:53			0,40						
14:49				0,55	0,76	13:09			0,33	0,84					
15:03				0,54	0,72	13:25			0,26	0,80					
15:17				0,48	0,67	0,85	13:41			0,77					
15:31				0,43	0,66	0,83	13:57			0,73	0,93				
15:45				0,42	0,64	0,82	14:13			0,70	0,88				
15:58				0,33	0,61	0,79	14:29			0,68	0,87				
16:11				0,25	0,54	0,70	14:45			0,65	0,85	0,92			
16:24					0,50	0,67	15:01			0,62	0,80	0,88			
16:37					0,45	0,62	15:17			0,58	0,73	0,83			
16:50					0,40	0,59	15:32			0,48	0,66	0,77			
17:03					0,35	0,55	15:47			0,39	0,60	0,69			
17:15					0,29	0,51	16:00			0,32	0,54	0,64			
17:25							16:13			0,25	0,50	0,61			
							16:26				0,44	0,58			
							16:38				0,38	0,50			
							16:50				0,28	0,45			
							17:06					0,41			
							17:22					0,33			
							17:38					0,23			
							17:54						0,90		
							18:10						0,87		
							18:26						0,81		
							18:41						0,75	0,99	
							18:56						0,72	0,91	
							19:10						0,67	0,88	
							19:24						0,63	0,84	0,87
							19:38						0,60	0,79	0,80
							19:51						0,54	0,76	0,79

Anexo 6.2.4 Caudais admitidos e excedentes da rega 7, 98

Excedentes

HORA	M1	M2	M3	BL 1	M4	M5	M6	BL 2
10:41	0,15							
11:20	0,35	0,50						
11:35	0,35	0,40		4,50				
11:43	0,32	0,40	0,40	4,20				0,90
12:22	0,25	0,30	0,50	4,00				0,80
12:52	0,10	0,10	0,35	2,60				
13:13	0,10	0,10	0,15	0,70				0,70
13:14	0,05	0,10	0,10	0,50				
13:36	0,00	0,00	0,00	0,30				0,20
13:36				0,20				
13:44				0,10				1,50
14:30				0,00	0,20	0,00		1,20
14:42					0,20	0,30		1,20
15:26					0,30	0,30	0,20	2,00
15:29					0,25	0,35	0,35	2,50
15:38					0,20	0,30	0,35	2,25
16:02					0,10	0,20	0,30	2,00
16:32					0,00	0,20	0,30	2,00
16:47						0,10	0,30	1,50
17:25						0,00	0,20	1,20

Admissão

HORA	M1	M2	M3	BL 1	M4	M5	M6	BL 2
9:30	0,75							
9:46	0,74							
10:02	0,7	0,93						
10:18	0,63	0,93						
10:34	0,62	0,91	0,74					
10:50	0,59	0,89	0,74					
11:06	0,56	0,83	0,7					
11:22	0,54	0,63	0,69					
11:36	0,49	0,57	0,65					
11:50	0,44	0,53	0,63					
12:06	0,38	0,48	0,61					
12:22		0,42	0,55					
12:38		0,39	0,5					
12:54		0,35	0,44					
13:10		0,32	0,35					
13:26		0,29	0,26					
13:40					0,81			
13:56					0,75			
14:12					0,71			
14:28					0,63			
14:43					0,57	0,75		
14:58					0,56	0,72		
15:13					0,53	0,63		
15:28					0,49	0,61		
15:43					0,44	0,58	0,82	
15:58					0,36	0,57	0,78	
16:13					0,26	0,51	0,72	
16:28						0,45	0,65	
16:43						0,4	0,63	
16:57						0,34	0,57	
17:09						0,28	0,52	
17:21						0,2	0,48	
17:33							0,42	
17:44							0,37	
17:54							0,3	
18:09							0,24	
18:19								

[illegible]

soma	1,40	0,00	0,00	0,00	1,49	1,09	1,35	35,00	0,00	0,00	0,00
------	------	------	------	------	------	------	------	-------	------	------	------

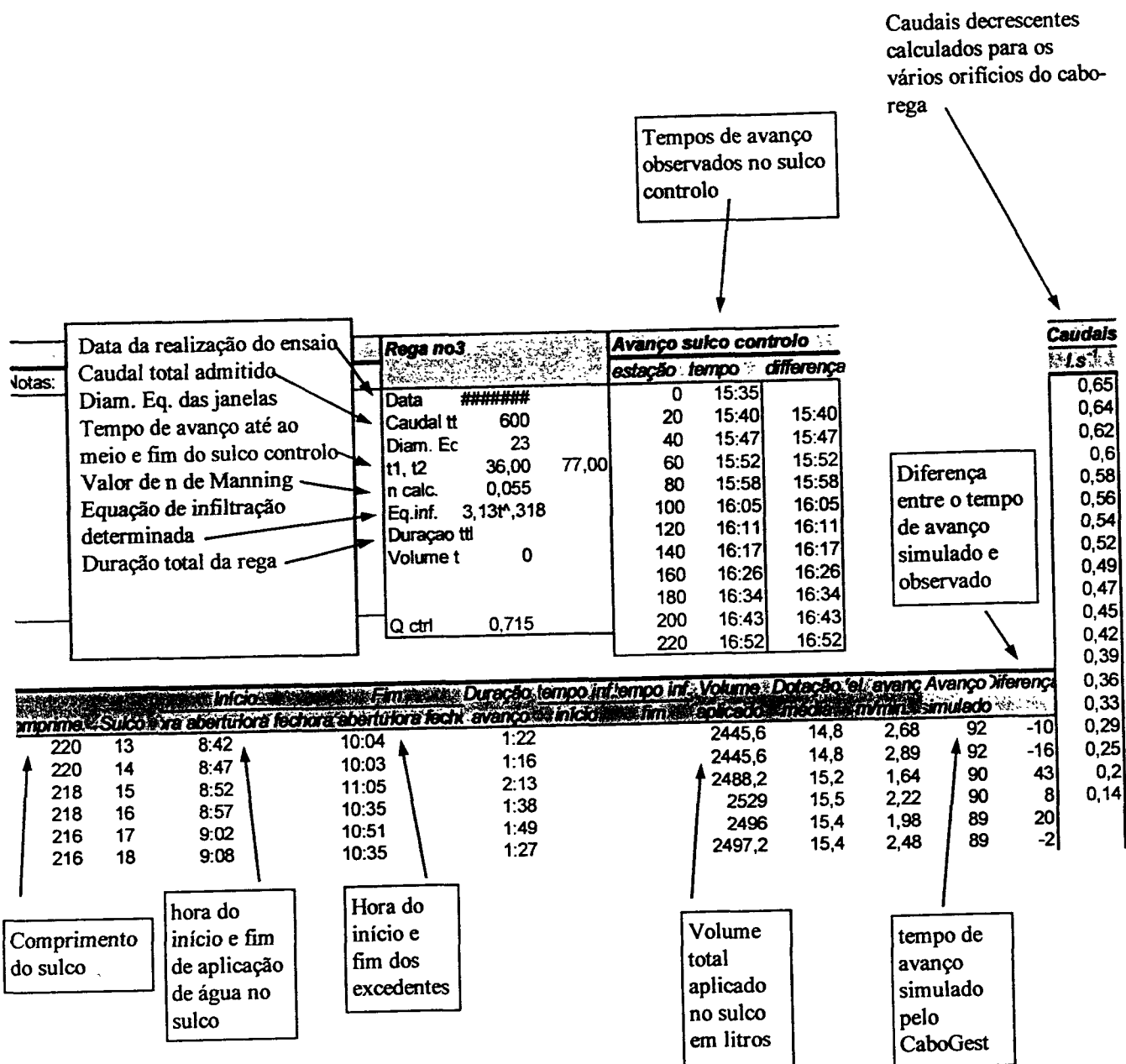
[illegible]

Excedentes

Admissão

Admissão										HORA	M7	M8	M9	BL 3	M10	M11	M12	BL 4	M13	M14	M15	
11:17	0,75									9:51	0,80											
11:25	0,73									9:58	0,75											
11:33	0,68	0,80								10:05	0,71											
11:41	0,65	0,75								10:12	0,67											
11:49	0,61	0,73	0,81							10:19	0,63	0,85										
11:57	0,58	0,71	0,78							10:26	0,59	0,83										
12:05	0,57	0,70	0,77							10:33	0,55	0,79										
12:12	0,55	0,67	0,74							10:40	0,51	0,72	0,87									
12:19	0,53	0,65	0,73							10:47	0,44	0,69	0,85									
12:25	0,45	0,59	0,65							10:54	0,41	0,66	0,81									
12:33	0,37	0,55	0,59							11:01	0,37	0,63	0,79									
12:40	0,33	0,49	0,54							11:08	0,30	0,59	0,74									
12:47	0,24	0,43	0,49							11:14	0,19	0,54	0,72									
12:54		0,38	0,45							11:20		0,50	0,68									
13:01		0,32	0,39							11:25		0,46	0,63									
13:08		0,24	0,33							11:30		0,38	0,57									
13:15		0,26								11:39		0,30	0,50									
13:22		0,16								11:48			0,43									
13:29										11:57			0,35	0,90								
13:36										12:06			0,27	0,87								
13:43										12:15				0,84								
13:50										12:24				0,78	0,88							
13:56										12:32				0,76	0,85							
14:02										12:40				0,71	0,82							
14:08										12:48				0,68	0,76	0,86						
14:14										12:56				0,63	0,72	0,78						
14:19										13:04				0,55	0,68	0,75						
14:24										13:12				0,46	0,59	0,68						
14:29										13:19				0,38	0,55	0,65						
14:34										13:26				0,29	0,50	0,63						
14:41										13:32				0,19	0,46	0,58						
14:48										13:38					0,38	0,53						
14:55										13:44					0,32	0,49						
15:02										13:49					0,26	0,40						
15:09										13:54						0,36						
15:16										14:02						0,30						
15:23										14:10						0,19						
										14:18												
										14:26												
										14:34												
										14:42												
										14:50												
										14:58												
										15:05												
										15:12												
										15:19												
										15:26												
										15:32												
										15:38												
										15:43												
										15:51												
										15:59												
										16:07												
										16:14												
										16:21												
										16:27												
										16:33												
										16:39												
										16:44												

Anexo 6.3 Tempos de avanço e caudais excedentes observados em 1999
Legenda dos quadros apresentados



Anexo 6.3.1 Tempos de avanço observados durante a rega 3, 1999

Notas:	Rega no3	Avanço sulco controle		Caudais l.s ⁻¹
		estação	tempo	
	Data #####	0	15:35	0,65
	Caudal tt 600	20	15:40	0,64
	Diam. Ec 23	40	15:47	0,62
	t1, t2 36,00 77,00	60	15:52	0,6
	n calc. 0,055	80	15:58	0,58
	Eq. inf. 3,13t ^{0,318}	100	16:05	0,56
	Duração tti	120	16:11	0,54
	Volume t 0	140	16:17	0,52
		160	16:26	0,49
		180	16:34	0,47
		200	16:43	0,45
		220	16:52	0,42
	Q ctrl 0,715			0,39
				0,36

Comprime	Sulco	Início		Fim	Duração	tempo inf.	tempo inf.	Volume	Dotação 'el.	avanço	Avanço	Diferença
		ra abertura	hora fechura		avanço	início	fim	aplicado	média	m/min.	simulado	
220	13	8:42	10:04	1:22				2445,6	14,8	2,68	92	-10
220	14	8:47	10:03	1:16				2445,6	14,8	2,89	92	-16
218	15	8:52	11:05	2:13				2488,2	15,2	1,64	90	43
218	16	8:57	10:35	1:38				2529	15,5	2,22	90	8
216	17	9:02	10:51	1:49				2496	15,4	1,98	89	20
216	18	9:08	10:35	1:27				2497,2	15,4	2,48	89	-2
215	19	9:13	10:45	1:32				2503,2	15,5	2,34	88	4
215	20	9:18	10:36	1:18				2505	15,5	2,76	88	-10
214	21	9:22	11:28	2:06				2562	16,0	1,70	87	39
214	22	9:25	11:04	1:39				2659,2	16,6	2,16	87	12
213	23	9:29	11:25	1:56				2705,4	16,9	1,84	87	29
213	24	9:34	10:51	1:17				2723,4	17,0	2,77	87	-10
212	25	9:39	11:20	1:41				2742,6	17,2	2,10	86	15
212	26	9:45	11:02	1:17				2712	17,1	2,75	86	-9
211	27	9:50	11:20	1:30				2753,4	17,4	2,34	85	5
211	28	9:55	11:18	1:23				2845,2	18,0	2,54	85	-2
210	29	9:58	11:30	1:32				2971,8	18,9	2,28	84	8
210	30	10:01	11:28	1:27				3057,6	19,4	2,41	84	3
140	31	10:05	10:49	0:44				3131,4	29,8	3,18	51	-7
140	32	10:11	10:55	0:44				3124,8	29,8	3,18	54	-10
100	33	10:16	10:40	0:24				3157,2	42,1	4,17	38	-14
209	34	10:28	11:51	1:23				2914,8	18,6	2,52	84	-1
209	35	10:31	12:22	1:51				3036,6	19,4	1,88	84	27
209	36	10:38	12:04	1:26				3015	19,2	2,43	84	2
207	37	10:44	12:06	1:22				2983,8	19,2	2,52	83	-1
207	38	10:49	11:57	1:08				3004,2	19,4	3,04	83	-15
205	39	10:54	11:56	1:02				3052,2	19,9	3,31	81	-19
205	40	11:00	12:13	1:13				3030,6	19,7	2,81	81	-8
204	41	11:05	12:05	1:00				3030,6	19,8	3,40	81	-21
204	42	11:10	12:50	1:40				3038,4	19,9	2,04	81	19
204	43	11:16	12:38	1:22				3012	19,7	2,49	81	1
204	44	11:21	12:31	1:10				3021,6	19,7	2,91	81	-11
203	45	11:26	12:37	1:11				3013,2	19,8	2,86	80	-9
203	46	11:35	12:36	1:01				2841	18,7	3,33	80	-19
203	47	11:45	13:07	1:22				2622	17,2	2,48	80	2
203	48	11:50	13:05	1:15				2614,8	17,2	2,71	80	-5
202	49	11:55	13:10	1:15				2578,2	17,0	2,69	80	-5
202	50	12:00	12:57	0:57				2507,4	16,6	3,54	80	-23
201	51	12:05	13:31	1:26				2483,4	16,5	2,58	79	-1
201	52	12:11	13:33	1:22				2411,4	16,0	3,05	79	-13
201	53	12:16	13:35	1:19				2332,2	15,5	3,09	79	-14
201	54	12:24	13:40	1:16				2171,4	14,4	2,87	79	-9
201	55	12:30	13:41	1:11				2079	13,8	3,05	79	-13
201	56	12:34	13:46	1:12				2044,2	13,6	2,36	79	6
198	57	12:40	13:52	1:12				1990,2	13,4	-0,26	77	
198	58	12:46	14:20	1:11				1920,6	12,9	2,11	77	17
184	59	12:50	14:02	1:12				1920	13,9	-0,24	75	
184	60	12:54	14:07	1:13				1926	14,0	2,11	75	12
180	61	12:58	14:13	1:15				1943,4	14,4	-0,23	72	
180	62	13:03	14:18	1:15				1926,6	14,3	2,43	72	2
160	63	13:07	14:23	1:16				1935,6	16,1	-0,20	61	
160	64	13:11	14:27	1:16				1945,8	16,2	2,08	61	16
140	65	13:14	14:32	1:18				1997,4	19,0	1,82	54	23
140	66	13:18	14:38	1:20				2028	19,3	2,09	54	13
120	67	13:23	14:41	1:18				2003,4	22,3	2,03	44	15
120	68	13:24	14:45	1:21				2116,2	23,5	2,03	44	15
100	69	13:26	14:50	1:24				2221,2	29,6	1,85	38	16
100	70	13:31	14:54	1:23				2203,8	29,4	2,08	38	10
80	71	13:33	14:58	1:25				2291,4	38,2	1,90	29	13
80	72	13:35	15:02	1:27				2385,6	39,8	2,11	29	9
70	73	13:40	15:09	1:29				2388,6	45,5	2,33	25	5
70	74	13:41	15:13	1:32				2551,2	48,6	2,80	25	0

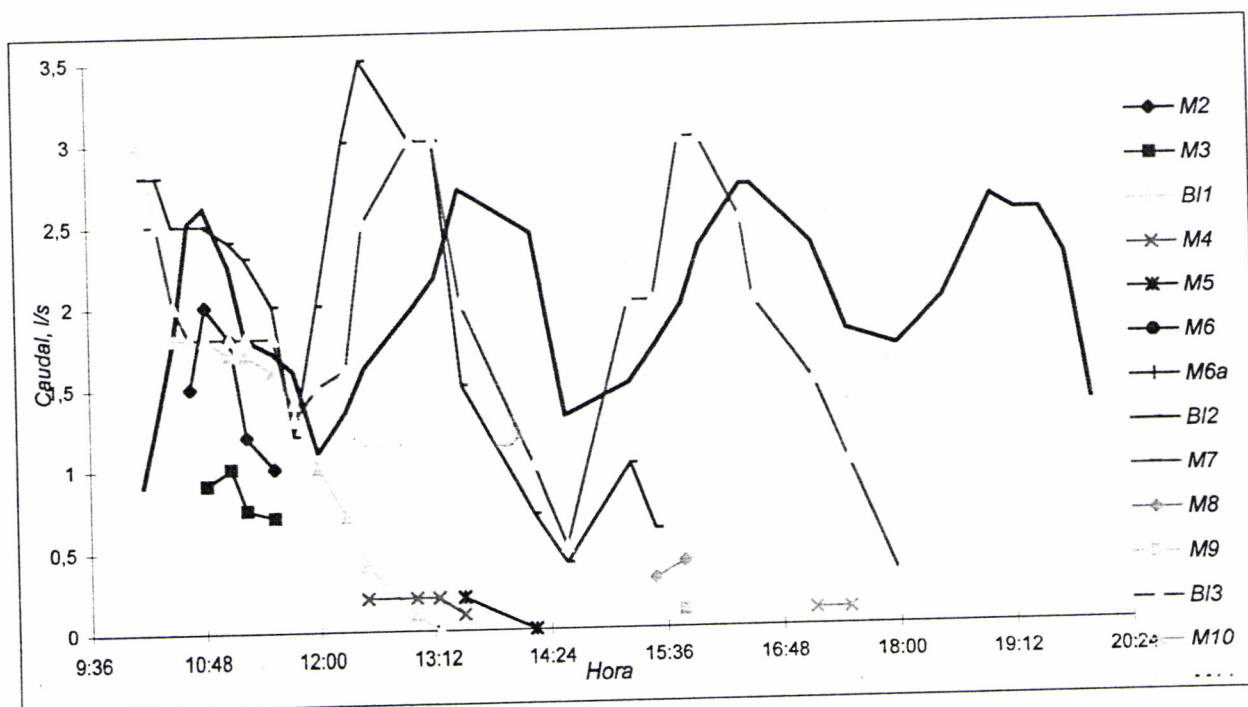
Anexo 6.3.1-cont. Tempos de avanço observados durante a rega 3

		Início		Fim		Duração		tempo inf.	tempo inf.	Volume	Dotação	el. avanç	Avanço	Diferença
Comprimento	Sulco	ra	abertura	fechura	abertura	fech	avanço	Início	fin	aplicado	média	m/min	simulado	
182	75		13:46	15:18	15:11		1:25	1:32		2524,8	18,5	2,14	73	12
182	76		13:52	15:26				1:34	0:00	2509,8	18,4	-0,22	73	
181	77		13:57	15:31	15:10		1:13	1:34		2533,8	18,7	2,48	73	0
181	78		14:02		15:14		1:12			2508,6	18,5	2,51	73	-1
180,5	79		14:07						0:00	2499,6	18,5	-0,21	72	
180,5	80		14:13		15:29		1:16			2456,4	18,1	2,38	72	4
180	81		14:18		15:23		1:05			2443,8	18,1	2,77	72	-7
180	82		14:23		15:21		0:58			2434,8	18,0	3,10	72	-14
181	83		14:27		15:40		1:13			2418	17,8	2,48	73	0
181	84		14:32		15:37		1:05			2395,2	17,6	2,78	73	-8
181	85		14:38		15:37		0:59			2367	17,4	3,07	73	-14
181	86		14:41		15:40		0:59			2364,6	17,4	3,07	73	-14
181	87		14:45		16:00		1:15			2360,4	17,4	2,41	73	2
181	88		14:50		15:44		0:54			2329,8	17,2	3,35	73	-19
182	89		14:54		15:56		1:02			2337	17,1	2,94	73	-11
182	90		14:58		16:10		1:12			2340	17,1	2,53	73	-1
182	91		15:02		15:57		0:55			2350,2	17,2	3,31	73	-18
182	92		15:09		16:04		0:55			2254,8	16,5	3,31	73	-18
182	93		15:13		16:11		0:58			2379	17,4	3,14	73	-15
182	94		15:18						0:00	2494,8	18,3	-0,20	73	
182	95		15:26		16:16		0:50			2362,8	17,3	3,64	73	-23
182	96		15:31		16:20		0:49			2411,4	17,7	3,71	73	-24
182	97		15:35		16:23		0:48			2534,4	18,6	3,79	73	-25
182	98		15:40		16:30		0:50			2586,6	18,9	3,64	73	-23
182	99		15:44		16:32		0:48			2622,6	19,2	3,79	73	-25
182	100		15:49		16:34		0:45			2714,4	19,9	4,04	73	-28
182	101		15:53						0:00	2812,8	20,6	-0,19	73	
182	102		15:53						0:00	3058,8	22,4	-0,19	73	
160	103		16:01						0:00	3064,2	25,5	-0,17	61	
160	104		16:03						0:00	3363,6	28,0	-0,17	61	
150	105		16:05						0:00	3567,6	31,7	-0,16	56	
150	106		16:08						0:00	3724,2	33,1	-0,15	56	
130	107		16:12						0:00	3841,2	39,4	-0,13	49	
130	108		16:16						0:00	3980,4	40,8	-0,13	49	
70	109		16:20						0:00	4090,2	77,9	-0,07	25	
70	110		16:25						0:00	4144,8	78,9	-0,07	25	
285	111		16:30		18:37		2:07			4190,4	19,6	2,24	126	1
284	112		16:48		18:50		2:02			3709,8	17,4	2,33	124	-2
283	113		16:55		18:45		1:50			3652,8	17,2	2,57	123	-13
282	114		17:03		18:40		1:37			3549	16,8	2,91	122	-25
281	115		17:10		18:56		1:46			3469,8	16,5	2,65	121	-15
280	116		17:22		18:57		1:35			3157,2	15,0	2,95	120	-25
278	117		17:24		19:07		1:43			3226,8	15,5	2,70	118	-15
276	118		17:32		19:04		1:32			3066	14,8	3,00	116	-24
275	119		17:39		19:27		1:48			2943	14,3	2,55	115	-7
274	120		17:46						0:00	2815,8	13,7		115	
273	121		17:52						0:00	2726,4	13,3		114	
272	122		18:07						0:00	2269,8	11,1		113	
271	123		18:17						0:00	2001,6	9,8		112	
270	124		18:25						0:00	1807,8	8,9		112	
269	125		18:30						0:00	1738,2	8,6		111	
268	126		18:36						0:00	1618,8	8,1		110	
266	127		18:42						0:00	1474,8	7,4		109	
265	128		18:46						0:00	1416,6	7,1		108	
264	129		18:50						0:00	1364,4	6,9		108	
263	130		18:53						0:00				107	
262	131		18:57						0:00				106	
256	132		19:00						0:00				114	
256	133		19:04						0:00				114	
145	134		19:06						0:00				52	
144	135		19:07						0:00				57	
143	136		19:08						0:00				56	
135	137		19:10						0:00				52	
132	138		19:12						0:00				50	
125	139		19:15						0:00				46	
123	140		19:18						0:00				46	
115	141		19:21						0:00				42	
110	142		19:24						0:00				40	
105	143		19:27						0:00				41	
100	144		19:31						0:00				38	
95	145		19:33						0:00				36	
90	146		19:35						0:00				33	
50	147		19:37						0:00				19	
50	148		19:40						0:00				19	

Anexo 6.3.2 Caudais excedentes observados durante a rega 3

Excedentes em $l.s^{-1}$

Hora	18 M2	24 M3	43 Bloco 1	51 M4	61 M5	69 M6	76 M6a	80 Bloco 2	88 M7	116 M8	116 M9	116 Bloco 3	116 M10	116 M11	Campo
10:10			3					2,8				2,5			0,9
10:20			2,5					2,8				2,5			1,35
10:30			1,8					2,5				2			1,8
10:40	1,5		1,8					2,5				1,8			2,52
10:50	2	0,9	1,8					2,5				1,8			2,61
11:05	1,8	1	1,7					2,4				1,8			2,25
11:15	1,2	0,75	1,7					2,3				1,8			1,8
11:32	1	0,7	1,6					2				1,8			1,71
11:45			1,4					1,2				1,3			1,6
12:00			1					2				1,5			1,1
12:18			0,7					3				1,6			1,35
12:30			0,4	0,2				3,5				2,5			1,62
13:00			0,1	0,2				3				3			1,98
13:14			0	0,2				3				3			2,16
13:30				0,1	0,2			1,5				2			2,7
14:15					0			0,7				1			2,43
14:35								0,4				0,5			1,3
15:15								1				2			1,5
15:30								0,6				2			1,71
15:48									0,3			3			1,98
16:00									0,4	0,1		3			2,34
16:25												2,5			2,7
16:32												2			2,7
17:09												1,5	0,1		2,34
17:30												1	0,1		1,8
18:00												0,3			1,7
18:30															2
19:00															2,61
19:15															2,52
19:30															2,52
19:45															2,25
20:00															1,35



Anexo 6.3.3 Tempos de avanço observados durante a rega 4

Rega no 4										Avanço sulco controle				Caudais	
										estação		tempo	diferença		l.s ⁻¹
Data 05-07-1999										0		9:10			0,65
Caudal tt 600										20		9:15	0:05		0,64
Diam. Eq 23										40		9:21	0:11		0,62
t1, t2 34 70										60		9:25	0:15		0,6
n calc. 0,055										80		9:31	0:21		0,58
Eq inf. 3,41t ^{0,264}										100		9:38	0:28		0,56
Duração tti										120		9:44	0:34		0,54
Volume t 0										140		9:49	0:39		0,52
Grec 7 mm										160		9:57	0:47		0,49
Dotacao 8 mm										180		10:06	0:56		0,47
Sulco controle = 10										200		10:13	1:03		0,45
										220		10:20	1:10		0,42
															0,39
															0,36
															0,33
															0,29
															0,25
															0,3
															0,14

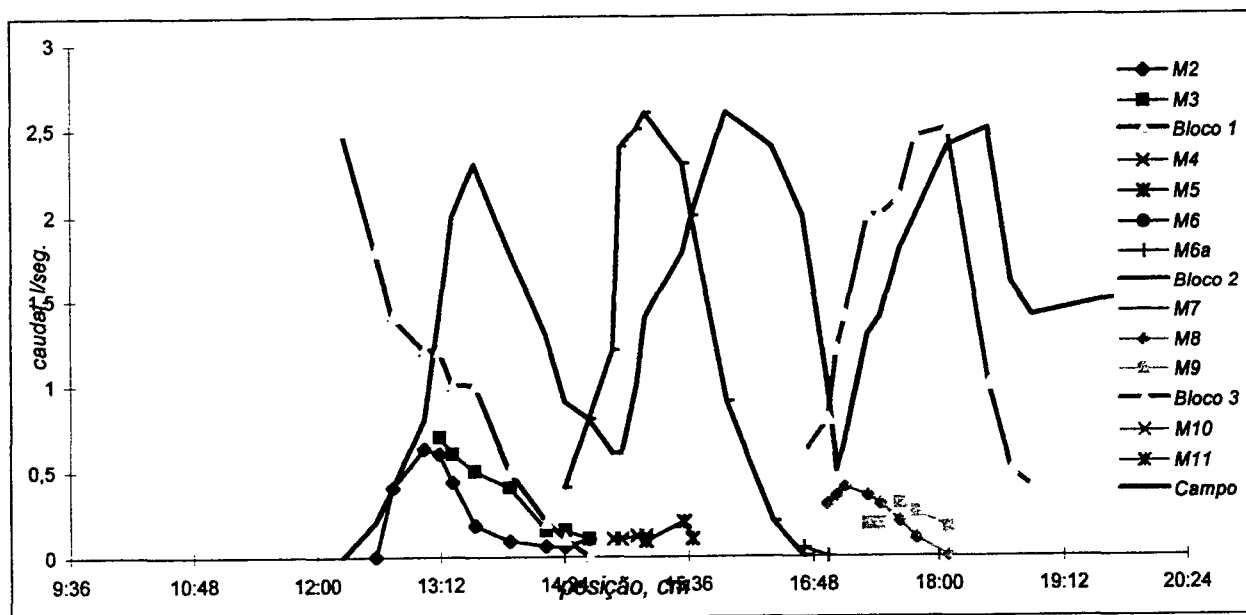
Anexo 6.3.3-cont. Tempos de avanço observados durante a rega 4, 1999

Compr. m	Sulco	Cabeceira		Fim		Duração	Tempo inf.		Volume	Dotação	et	avang	avanço	Diferença	
		Início	recess	Início	recess		avang	Cabeceira							fin
182	75	15:25	16:46	16:33	17:20	1:08	1:21	0:47	2359,2	17,3		2,68	64	4	
182	76	15:30	16:54	16:43	17:25	1:13	1:24	0:42	2364,6	17,3		2,49	64	9	
181	77	15:35	16:58	16:39	17:38	1:04	1:23	0:59	2334	17,2		2,83	64	0	
181	78	15:39	17:03	16:48	17:40	1:09	1:24	0:52	2362,8	17,4		2,62	64	5	
180,5	79	15:45	17:07	17:01	18:10	1:16	1:22	1:09	2299,2	17,0		2,38	63	13	
180,5	80	15:50	17:11	16:57	18:10	1:07	1:21	1:13	2276,4	16,8		2,69	63	4	
180	81	15:53	17:15	16:54	18:10	1:01	1:22	1:16	2340	17,3		2,95	63	-2	
180	82	15:58	17:20	17:12	18:10	1:14	1:22	0:58	2325	17,2		2,43	63	11	
181	83	16:03	17:24	17:25		1:22	1:21		2305,2	17,0		2,21	64	18	
181	84	16:05	17:29	17:13		1:08	1:24		2399,4	17,7		2,66	64	4	
181	85	16:10	17:32	17:15		1:05	1:22		2362,2	17,4		2,78	64	1	
181	86	16:14	17:36	17:21		1:07	1:22		2373,6	17,5		2,70	64	3	
181	87	16:19	17:39	17:42		1:23	1:20		2311,2	17,0		2,18	64	19	
181	88	16:23	17:40	17:22		0:59	1:17		2288,4	16,9		3,07	64	-5	
182	89	16:27	17:42	17:33		1:06	1:15		2287,8	16,8		2,76	64	2	
182	90	16:32	17:47	17:52		1:20	1:15		2242,2	16,4		2,28	64	16	
182	91	16:36	17:50	17:37		1:01	1:14		2242,8	16,4		2,98	64	-3	
182	92	16:41	17:54	17:46		1:05	1:13		2199,6	16,1		2,80	64	1	
182	93	16:46	17:58	17:38		0:52	1:12		2145,6	15,7		3,50	64	-12	
182	94	16:54	18:07	17:48		0:54	1:13		1989	14,6		3,37	64	-10	
182	95	16:58	18:13	17:48		0:50	1:15		2019	14,8		3,64	64	-14	
182	96	17:03	18:16	18:05		1:02	1:13		2000,4	14,7		2,94	64	-2	
182	97	17:07	18:19	18:06		0:59	1:12		2034	14,9		3,08	64	-5	
182	98	17:11	18:29	18:12		1:01	1:18		2065,2	15,1		2,98	64	-3	
182	99	17:15	18:32	18:15		1:00	1:17		2095,2	15,3		3,03	64	-4	
182	100	17:20	18:38	18:04		0:44	1:18		2116,8	15,5		4,14	64	-20	
182	101	17:24	18:45	18:05		0:41	1:21		2172,6	15,9		4,44	64	-23	
182	102	17:29	18:52	17:56		0:27	1:23		2195,4	16,1		6,74	64	-37	
160	103	17:32	18:59	18:15		0:43	1:27		2344,2	19,5		3,72	58	-15	
160	104	17:36	19:11	18:10		0:34	1:35		2455,8	20,5		4,71	58	-24	
150	105	17:39	19:17	18:05		0:26	1:38		2542,2	22,6		5,77	53	-27	
150	106	17:40	19:23	18:11		0:31	1:43		2751	24,5		4,84	53	-22	
130	107	17:43	19:30	18:17		0:34	1:47		2869,8	29,4		3,82	45	-11	
130	108	17:46	19:31	18:20		0:34	1:45		2981,4	30,6		3,82	45	-11	
70	109	17:50	19:33	18:10		0:20	1:43		3094,8	58,9		3,50	23	-3	
70	110	17:54	19:34	18:08		0:14	1:40		3197,4	60,9		5,00	23	-9	
285	111	17:58						0:00	3304,2	15,5			106		
284	112	18:01	0:06					0:00	3451,8	16,2			106		
283	113	18:07	0:06					0:00	3484,2	16,4			105		
282	114	18:13	0:06					0:00	3487,8	16,5			105		
281	115	18:19	0:07					0:00	3441,6	16,3			104		
280	116	18:26	0:05					0:00	3370,2	16,0			104		
278	117	18:31	0:07					0:00	3381,6	16,2			103		
276	118	18:38	0:07					0:00	3298,2	15,9			102		
275	119	18:45	0:07					0:00	3209,4	15,6			101		
274	120	18:52	0:07					0:00	3122,4	15,2			101		
273	121	18:59	0:12					0:00	2942,4	14,4			100		
272	122	19:11	0:06					0:00	2533,2	12,4			100		
271	123	19:17	0:06					0:00	2485,8	12,2			99		
270	124	19:23	0:07					0:00	2372,4	11,7			99		
269	125	19:30	0:04					0:00	2204,4	10,9			98		
268	126	19:34	0:07					0:00	2158,8	10,7			98		
266	127	19:41	0:07					0:00	1989,6	10,0			97		
265	128	19:48	0:07					0:00	1813,2	9,1			96		
264	129	19:55	0:07					0:00	1629,6	8,2			96		
263	130	20:02	0:07												
262	131	20:09	0:07												
256	132	20:16	0:03												
256	133	20:19													
145	134	20:21													
144	135	20:24													
143	136	20:27													
135	137	20:30													
132	138	20:33													
125	139	20:37													
123	140	20:30													
115	141	20:33													
110	142	20:36													
105	143	20:38													
100	144	20:40													
95	145	20:42													
90	146	20:44													
50	147	20:46													
50	148	20:48													

Anexo 6.3.4 Caudais excedentes observados durante a rega 4- 1999

Excedentes em $l.s^{-1}$

Excedentes em m/s															
	18	24		43	51	61	69		76	80	88		116		
Hora	M2	M3	Bloco 1	M4	M5	M6	M6a	Bloco 2	M7	M8	M9	Bloco 3	M10	M11	Campo
11:30			0												
12:00			0,7												
12:16			2,5												0
12:35	0		1,8												0,2
12:45	0,4		1,4												0,4
13:03	0,63		1,2												0,8
13:12	0,6	0,7	1,2												1,4
13:20	0,44	0,6	1												2
13:33	0,18	0,5	1												2,3
13:53	0,09	0,4	0,5												1,8
14:14	0,06	0,15	0,2												1,3
14:25	0,06	0,15	0,1					0,4							0,9
14:39	0,1	0,1	0					0,8							0,8
14:53				0,1				1,2							0,6
14:58				0,1				2,4							0,6
15:07				0,12				2,5							1
15:12				0,12	0,09			2,6							1,4
15:34					0,2			2,3							1,8
15:39					0,1			2							2
15:59								0,9							2,6
16:26								0,2							2,4
16:43							0,05	0				0,6			2
16:57							0			0,3		0,8			1
17:02										0,35		1,2			0,5
17:07										0,4		1,4			0,7
17:20										0,35	0,18	2			1,3
17:27										0,3	0,18	2			1,4
17:38										0,2	0,3	2,1			1,8
17:48										0,1	0,25	2,45			2
18:07										0	0,16	2,5			2,4
18:30												1			2,5
18:43												0,5			1,6
18:55												0,4			1,4
19:41															1,5



Anexo 6.3.5 Tempos de avanço observados durante a rega 8

Rega no 8		Controlo: Avanços		Caudais l.s ⁻¹
Data #####		0	15:40	
Notas: Ensaio de diminuição da abertura dos orifícios Esta rega foi realizada com aberturas normais rega 4, que tinha aberturas reduzidas em alguns	Caudal tt	600	8l/seg	0,65
	Diam. Ec	23		0,64
	t1, t2	29	60	0,62
	n calc.	0,048		0,6
	Eq.inf.	2,37	0,307	0,58
	Duração tti			0,56
	Volume t	0		0,54
				0,52
				0,49
				0,47
Dotacao 8 mm				0,45
				0,42
				0,39
				0,36
				0,33
				0,29
				0,25
				0,2
				0,14

Início		Fim		Duração tempo inf. tempo inf.		Volume		Dotação / el. avanço		Avanço		Diferença	
Comprimento	Sulco	hora abertura	hora fecho	hora abertura	hora fecho	avanzo	inicio	fim	aplicado	média	m/min.	simulado	
220	13	10:57	12:05	12:05		1:08			2307,6	14,0	3,24	65	3
220	14	11:01	12:25	12:08		1:07	1:24		2338,2	14,2	3,28	65	2
218	15	11:05	12:30	12:10	13:40	1:05	1:25	1:30	2363,4	14,5	3,35	64	1
218	16	11:09	12:10	12:10		1:01			2385	14,6	3,57	64	-3
216	17	11:13	12:45	12:20		1:07	1:32		2460	15,2	3,22	63	4
216	18	11:17	12:52	12:16	13:40	0:59	1:35	1:24	2488,8	15,4	3,66	63	-4
215	19	11:21	12:57	12:40		1:19	1:36		2523,6	15,7	2,72	63	16
215	20	11:25	12:40	12:40		1:15			2579,4	16,0	2,87	63	12
214	21	11:29	12:40	12:40		1:11			2616,6	16,3	3,01	62	9
214	22	11:34	12:47	12:47		1:13			2620,8	16,3	2,93	62	11
213	23	11:38	12:47	12:47		1:09			2664,6	16,7	3,09	62	7
213	24	11:43	13:17	12:40	13:40	0:57	1:34	1:00	2670	16,7	3,74	62	-5
212	25	11:47	12:50	13:40		1:03		0:50	2723,4	17,1	3,37	62	1
212	26	11:52	13:07	13:40		1:15		0:33	2743,8	17,3	2,83	62	13
211	27	11:58	13:07	14:10		1:09		1:03	2725,2	17,2	3,06	61	8
211	28	12:03	13:38	13:18	14:10	1:15	1:35	0:52	2737,8	17,3	2,81	61	14
210	29	12:09	13:39	13:14		1:05	1:30		2710,2	17,2	3,23	61	4
210	30	12:15	13:10	13:10		0:55			2697	17,1	3,82	61	-6
140	31	12:21	13:44	13:02		0:41	1:23		2671,2	25,4	3,41	42	-1
140	32	12:25	12:56			0:31			2707,2	25,8	4,52	42	-11
100	33	12:31											1
209	34	12:33	13:56	13:39		1:06	1:23		2802	17,9	3,17	61	5
209	35	12:40	14:01	13:48	15:32	1:08	1:21	1:44	2721,6	17,4	3,07	61	7
209	36	12:46		14:09	15:32	1:23		1:23	2679	17,1	2,52	61	22
207	37	12:50		14:10	15:32	1:20		1:22	2727,6	17,6	2,59	60	20
207	38	12:56	14:17	14:10	15:32	1:14	1:21	1:22	2691,6	17,3	2,80	60	14
205	39	13:01	14:25	14:09	15:32	1:08	1:24	1:23	2685	17,5	3,01	63	5
205	40	13:06	14:33	14:23	15:32	1:17	1:27	1:09	2661,6	17,3	2,66	63	14
204	41	13:11	14:40	14:11	15:32	1:00	1:29	1:21	2632,2	17,2	3,40	62	-2
204	42	13:16	14:48	14:20	15:32	1:04	1:32	1:12	2602,8	17,0	3,19	62	2
204	43	13:21	14:48	14:33	15:32	1:12	1:27	0:59	2567,4	16,8	2,83	62	10
204	44	13:27	14:50	14:35	15:32	1:08	1:23	0:57	2497,2	16,3	3,00	62	6
203	45	13:33	15:00	14:27	16:06	0:54	1:27	1:39	2431,8	16,0	3,76	62	-8
203	46	13:39	15:04	14:40	16:06	1:01	1:25	1:26	2358,6	15,5	3,33	62	-1
203	47	13:44		14:50	16:06	1:06		1:16	2323,2	15,3	3,08	62	4
203	48	13:50		14:55	16:06	1:05		1:11	2238,6	14,7	3,12	62	3
202	49	13:56		15:02	16:06	1:06		1:04	2143,2	14,1	3,06	61	5
202	50	14:01		14:51	16:06	0:50		1:15	2089,2	13,8	4,04	61	-11
201	51	14:05		15:13	16:06	1:08		0:53	2071,2	13,7	2,96	61	7
201	52	14:10	15:36	15:04	16:06	0:54	1:26	1:02	2011,2	13,3	3,72	61	-7
201	53	14:15		15:11		0:56			1948,8	12,9	3,59	61	-5
201	54	14:19		15:12		0:53			1923	12,8	3,79	61	-8
201	55	14:24		15:20		0:56			1855,8	12,3	3,59	61	-5
201	56	14:29		15:22		0:53			1777,2	11,8	3,79	61	-8
198	57	14:34	15:40	15:30		0:56	1:06		1729,2	11,6	3,54	60	-4
198	58	14:38	15:45	15:56		1:18	1:07		1753,8	11,8	2,54	60	18
184	59	14:41		15:54		1:13			1780,2	12,9	2,52	54	19
184	60	14:44		16:05		1:21			1822,2	13,2	2,27	54	27
180	61	14:47		15:37		0:50			1861,2	13,8	3,60	53	-3
180	62	14:50	15:52	16:00		1:10	1:02		1892,4	14,0	2,57	53	17
160	63	14:54	16:00	15:40		0:46	1:06		1890	15,8	3,48	46	0
160	64	14:58		15:46		0:48			1887,6	15,7	3,33	46	2
140	65	15:02		15:44		0:42			1885,8	18,0	3,33	42	0
140	66	15:06		15:55		0:49			1882,8	17,9	2,86	42	7
120	67	15:09	16:12	16:04		0:55	1:03		1918,8	21,3	2,18	35	20
120	68	15:12	16:16	16:03		0:51	1:04		1958,4	21,8	2,35	35	16
100	69	15:15	16:20	15:43		0:28	1:05		1997,4	26,6	3,57	29	-1
100	70	15:18	16:22	16:02		0:44	1:04		2037,6	27,2	2,27	29	15
80	71	15:21		15:59		0:38			2070,6	34,5	2,11	23	15
80	72	15:24		16:01		0:37			2094,6	34,9	2,16	23	14
70	73	15:27		16:00		0:33			2131,2	40,6	2,12	21	12
70	74	15:30	16:30	16:00		0:30	1:00		2176,8	41,5	2,33	21	9

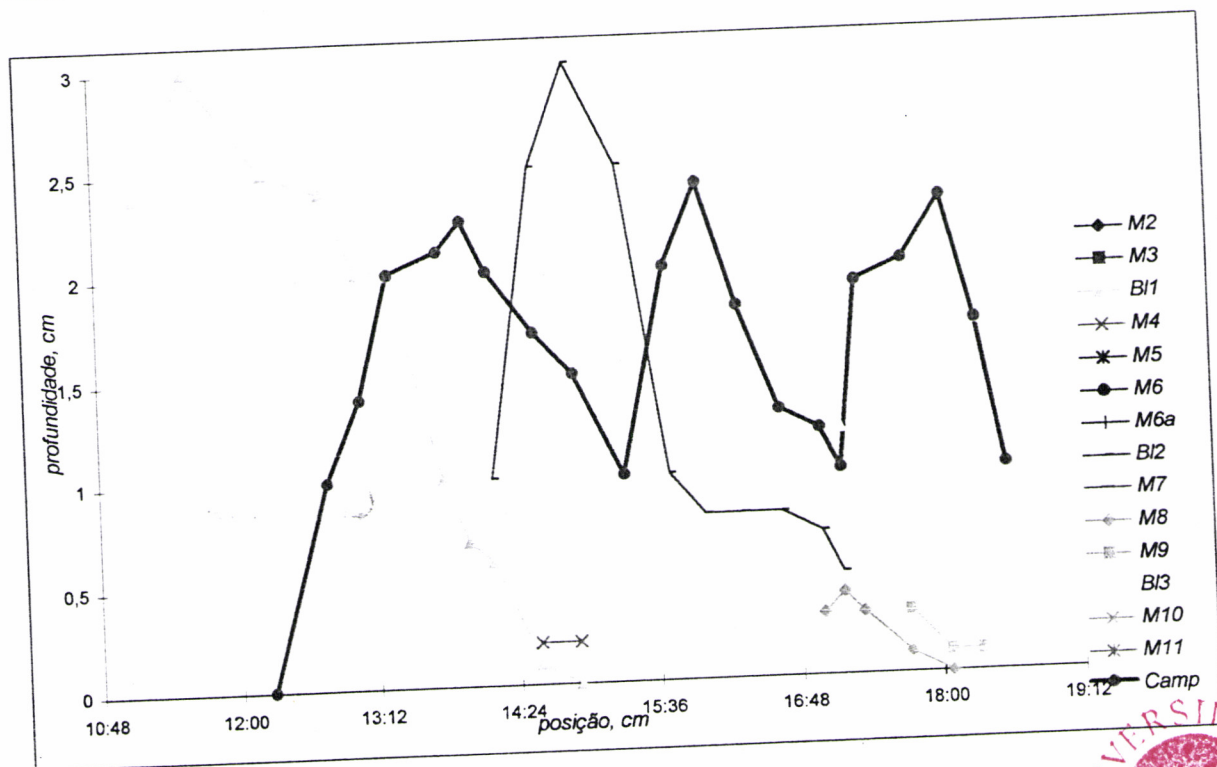
Anexo 6.3.5-cont. Tempos de avanço observados durante a rega 8

Comprimento		Sulco	Início		Fim		Duração		tempo inf.		Volume	Dotação		el. avanço	Avanço	Diferença
			abertura	fechura	abertura	fechura	avanço	início	fim		aplicado	média	tr/min.	simulado		
182	75	15:32		16:32			1:00				2255,4	16,5	3,03	54	6	
182	76	15:39		16:33			0:54				2137,2	15,7	3,37	54	0	
181	77	15:44		16:53	17:30		1:09		0:37		2096,4	15,4	2,62	53	16	
181	78	15:49		16:57	17:30		1:08		0:33		2054,4	15,1	2,66	53	15	
180,5	79	15:54		17:12	17:30		1:18		0:18		2011,8	14,9	2,31	53	25	
180,5	80	15:58	17:09	16:59	17:30		1:01	1:11	0:31		2008,8	14,8	2,96	53	8	
180	81	16:02		17:07	17:48		1:05		0:41		2006,4	14,9	2,77	53	12	
180	82	16:06	17:12	17:03	17:48		0:57	1:06	0:45		2003,4	14,8	3,16	53	4	
181	83	16:10	17:13	17:32	17:48		1:22	1:03	0:16		2000,4	14,7	2,21	53	29	
181	84	16:14	17:14	17:16	17:48		1:02	1:00	0:32		1998	14,7	2,92	53	9	
181	85	16:18	17:18	17:20	17:48		1:02	1:00	0:28		1995,6	14,7	2,92	53	9	
181	86	16:22	17:23	17:21	17:48		0:59	1:01	0:27		1993,2	14,7	3,07	53	6	
181	87	16:26	17:28	17:25	17:48		0:59	1:02	0:23		1990,8	14,7	3,07	53	6	
181	88	16:30	17:32	17:26	17:48		0:56	1:02	0:22		2005,2	14,8	3,23	53	3	
182	89	16:34	17:35	17:40	17:19		1:06	1:01			2022,6	14,8	2,76	54	12	
182	90	16:37	17:39	17:50	17:19		1:13	1:02			2046,6	15,0	2,49	54	19	
182	91	16:40	17:45	17:42			1:02	1:05			2072,4	15,2	2,94	54	8	
182	92	16:44		17:46			1:02				2053,8	15,0	2,94	54	8	
182	93	16:48	17:53	17:44			0:56	1:05			2072,4	15,2	3,25	54	2	
182	94	16:52		17:45			0:53				2140,8	15,7	3,43	54	-1	
182	95	16:56		17:46			0:50				2177,4	16,0	3,64	54	-4	
182	96	17:00	18:03	17:50			0:50	1:03			2227,2	16,3	3,64	54	-4	
182	97	17:04	18:09	17:50			0:46	1:05			2275,8	16,7	3,96	54	-8	
182	98	17:08	18:15	17:55			0:47	1:07			2319,6	17,0	3,87	54	-7	
182	99	17:12	18:20	18:05			0:53	1:08			2373,6	17,4	3,43	54	-1	
182	100	17:16	18:27	18:10			0:54	1:11			2430	17,8	3,37	54	0	
182	101	17:20	18:33	18:00			0:40	1:13			2490	18,2	4,55	54	-14	
182	102	17:24	18:39	17:57			0:33	1:15			2551,2	18,7	5,52	54	-21	
160	103	17:28		17:57			0:29				2613,6	21,8	5,52	46	-17	
160	104	17:32		17:59			0:27				2681,4	22,3	5,93	46	-19	
150	105	17:36	18:58	18:00			0:24	1:22			2750,4	24,4	6,25	43	-19	
150	106	17:40		18:02			0:22				2820,6	25,1	6,82	43	-21	
130	107	17:46		18:12			0:26				2814	28,9	5,00	38	-12	
130	108	17:50		18:15			0:25				2887,8	29,6	5,20	38	-13	
70	109	17:53	19:09	18:15			0:22	1:16			3004,2	57,2	3,18	21	1	
70	110	17:56		18:13			0:17				3124,8	59,5	4,12	21	-4	

Anexo 6.3.6 Caudais excedentes observados durante a rega 8

Excedentes em $l.s^{-1}$

Excedentes em l.s'															
	18	24	43	51	61	69	76	80	88	116					
Hora	M2	M3	Bloco 1	M4	M5	M6	M6a	Bloco 2	M7	M8	M9	Bloco 3	M10	M11	Campo
11:10			2,4												0
11:38			3												1
12:17			2,5												1,4
12:47			2,4												2
13:05			2												2,1
13:21			2												2,25
13:47			1												2
14:00			0,7					1							1,7
14:12			0,6					2,5							1,5
14:35			0,1	0,2				3							1
14:55			0	0,2				2,5							2
15:20								1							2,4
15:43								0,8							1,8
16:01								0,8							1,3
16:20								0,8							1,2
16:40								0,7		0,3			1		1
17:00								0,5		0,4			1,2		1,9
17:10										0,3			1,5		2
17:20										0,1	0,3		2,4		2,3
17:44										0	0,1		1,8		1,7
18:05											0,1		1,7		1
18:21													0,6		
18:35															
18:50															



Anexo 6.3.7 Tempos de avanço observados durante a rega 19. 1999

Rega no 8										Controlo: Avanços			Caudais			
Data 02-08-1999										0	9:08		l.s ⁻¹			
Caudal tti										20	9:11	9:11	0,66			
Diam. Eqi										40	9:14	9:14	0,64			
t1, t2 24,00 48,00										60	9:18	9:18	0,62			
n calc.										80	9:23	9:23	0,61			
Eq.inf.										100	9:28	9:28	0,59			
Duração tti										120	9:32	9:32	0,57			
Volume tti										140	9:36	9:36	0,55			
G rec 3										160	9:40	9:40	0,53			
Gapli 7										180	9:46	9:46	0,51			
Q cont										200	9:51	9:51	0,49			
										220	9:56	9:56	0,46			
													0,44			
													0,41			
Início Fim Duração tempo inf tempo inf Volume Dotação tot. avanço Avanço Diferença																0,38
Imprima Sulco ra abertura fechura abertura fechura avanço início fim aplicado média mínim. simulado																0,35
220	13	10:13	11:57				1:44	0:00								0,32
220	14	10:18	12:02				1:44	0:00								0,29
218	15	10:22	12:07				1:45	0:00								0,25
218	16	10:28	12:18				1:50	0:00								0,2
216	17	10:34	12:22	11:51	14:00	1:17	1:48	2:09		-6,2	2,81					0,13
216	18	10:38	12:27		14:05		1:49	14:05		-3,4	-0,34					
215	19	10:43	12:33	11:58	14:00	1:15	1:50	2:02		-3,6	2,87					
215	20	10:48	12:44	11:35	14:00	0:47	1:56	2:25		-1,0	4,57					
214	21	10:54		11:56	14:08	1:02	2:12			-1,2	3,45					
214	22			11:45	14:25	11:45	0:00	2:40	26299,2	163,9	0,30					
213	23			12:20	14:12	12:20	0:00	1:52	27303	170,9	0,29					
213	24			11:41	14:25	11:41	0:00	2:44	22311	139,7	0,30					
212	25	11:14		12:25	14:29	1:11	2:04	-7447,8		-46,8	2,99					
212	26	11:19	1:59	12:27	14:29	1:08	2:02	-3320,4		-20,9	3,12					
211	27	11:24	13:04	12:35	14:48	1:11	1:40	2:13	-2343	-14,8	2,97					
211	28	11:29	13:04	12:29	14:48	1:00	1:35	2:19	-1415,4	-8,9	3,52					
210	29			12:33		12:33	0:00									
210	30	11:34	13:09				1:35	0:00	86,4	0,5	-0,30					
140	31	11:39	13:14				1:35	0:00	92,4	0,9	-0,20					
140	32	11:44	13:19				1:35	0:00	98,4	0,9	-0,20					
100	33	11:50	13:24				1:34	0:00	525,6	7,0	-0,14					
209	34	11:57	13:29	13:04	15:30	1:07	1:32	2:26	451,8	2,9	3,12					
209	35	12:02	13:34	13:03	15:15	1:01	1:32	2:12	450,6	2,9	3,43					
209	36	12:07	13:39	13:10	15:46	1:03	1:32	2:36	918	5,9	3,32					
207	37	12:12	13:44	13:17	15:17	1:05	1:32	2:00	920,4	5,9	3,18					
207	38	12:18	13:49	13:29	15:20	1:11	1:31	1:51	889,2	5,7	2,92					
205	39	12:22	13:54	13:20	15:18	0:58	1:32	1:58	935,4	6,1	3,53					
205	40	12:27	14:00	13:34	15:22	1:07	1:33	1:48	940,2	6,1	3,06					
204	41	12:33	14:05	13:23	15:33	0:50	1:32	2:10	1365,6	8,9	4,08					
204	42	12:38	14:10	13:51	15:34	1:13	1:32	1:43	1371,6	9,0	2,79					
204	43	12:44	14:15	13:25	15:35	0:41	1:31	2:10	869,4	5,7	4,98					
204	44		14:20	13:55	15:40											
203	45		14:25	13:39	15:53											
203	46	12:59	14:30	13:44	16:05	0:45	1:31	2:21	2706,6	17,8	4,51					
203	47	13:04	14:42	13:57	16:20	0:53	1:38	2:23	2692,8	17,7	3,83					
203	48	13:09	14:46	14:06	16:06	0:57	1:37	2:00	2677,2	17,6	3,56					
202	49	13:14	14:50	14:10	16:15	0:56	1:36	2:05	2659,2	17,6	3,61					
202	50	13:19		14:05	16:08	0:46		2:03			4,39					
201	51	13:24		14:15	16:17	0:51		2:02			3,94					
201	52	13:29	15:04	14:17	16:16	0:48	1:35	1:59			4,19					
201	53	13:34	15:09	14:23	16:27	0:49	1:35	2:04			4,10					
201	54	13:39		14:35	16:20	0:56		1:45			3,59					
201	55	13:44		14:30	16:22	0:46		1:52			4,37					
201	56	13:49	15:21				1:32	0:00								
198	57	13:54	15:31				1:37	0:00								
198	58	14:00	15:36				1:36	0:00								
184	59	14:05	15:36				1:31	0:00								
184	60	14:10	15:41				1:31	0:00								
180	61	14:15	15:41				1:28	0:00								
180	62	14:20	15:51				1:31	0:00								
160	63	14:25	15:56				1:31	0:00								
160	64	14:30	16:01				1:31	0:00								
140	65	14:34	16:06				1:32	0:00								
140	66	14:38	16:11				1:33	0:00								
120	67	14:42	16:17				1:35	0:00								
120	68	14:46	16:22				1:36	0:00								
100	69	14:50	16:27				1:37	0:00								
100	70		16:27			0:00	16:27	0:00								
80	71		16:32			0:00	16:32	0:00								
80	72		16:32			0:00	16:32	0:00								
70	73	15:04	16:32				1:28	0:00								
70	74					0:00	0:00	0:00								

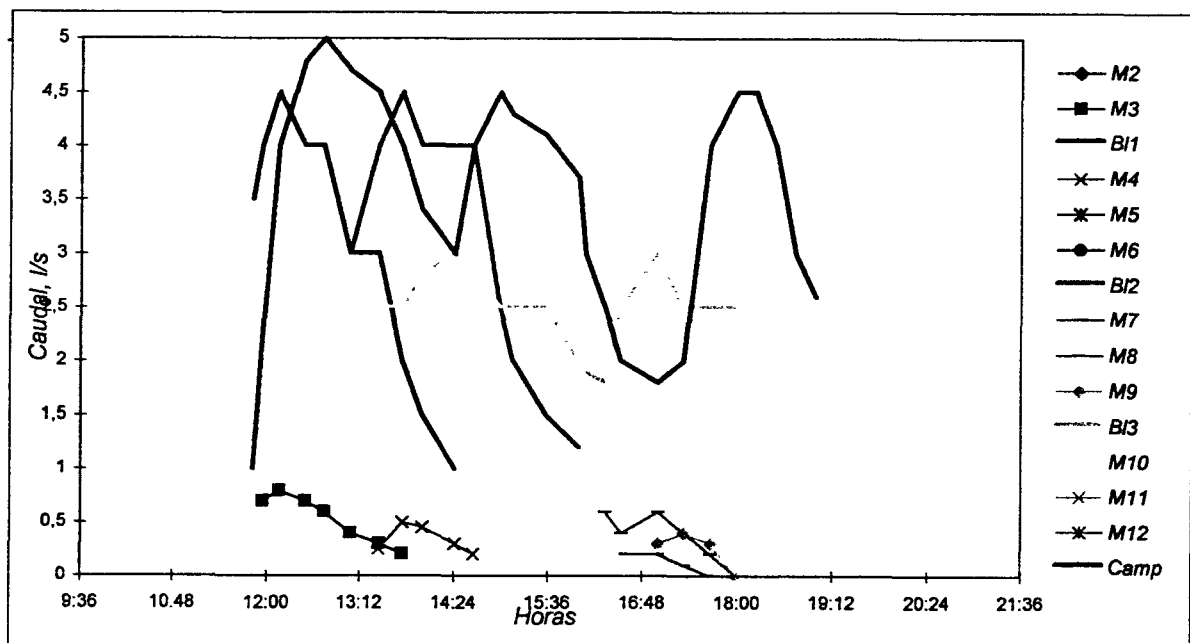
Anexo 6.3.7-cont. Tempos de avanço observados durante a rega 19. 1999

[illegible]

Anexo 6.3.8 Caudais excedentes observados durante a rega 19

Excedentes em l/s

Hora	18	24	43	51	61	69	76	80	88	116						
	M2	M3	Bloco 1	M4	M5	M6	M6a	Bloco 2	M7	M8	M9	Bloco 3	M10	M11	M12	Camp
11:50			3,5													1
11:57		0,7	4													2,2
12:10		0,8	4,5													4
12:30		0,7	4													4,8
12:45		0,6	4													5
13:05		0,4	3					3								4,7
13:27		0,3	3	0,25				4				2,5				4,5
13:45		0,2	2	0,5				4,5				2,5				4
14:00			1,5	0,45				4				2,8				3,4
14:25			1	0,3				4				3				3
14:40				0,2				4				2,8				4
15:00								2,5				2,5				4,5
15:10								2				2,5				4,3
15:35								1,5				2,5				4,1
16:00								1,2				2				3,7
16:05												1,9				3
16:20										0,6		1,8				2,5
16:32									0,2	0,4		2,5				2
17:00									0,2	0,6	0,3	3				1,8
17:20									0,1	0,4	0,4	2,5				2
17:40									0	0,2	0,3	2,5				4
18:00										0	0	2,5				4,5
18:15																4,5
18:30																4
18:45																3
19:00																2,6
19:15																
19:30																
19:45																
20:00																
20:15																
20:30																



Anexo 6.3.9 Tempos de avanço observados durante a rega 21

Notas: A abertura das janelas foi reduzida para d18 Ensaio de abertura das janelas	Rega no	8	Controlo: Avanços		Caudais l.s ⁻¹
	Data	#####	0	7:00	
	Caudal ft	600	20	7:05	
	Diam. Ec	18	40	7:11	
	t1, t2	34,00 68,00	60	7:16	
	n calc.	0,05	80	7:21	
	Eq.inf.	0,00254t ^{0,222}	100	7:28	
	Duração tti		120	7:34	
	Volume tti		140	7:38	
	G rec	4,5	160	7:46	
	Gapli	7	180	7:53	
	Q cont		200	8:00	
			220	8:08	

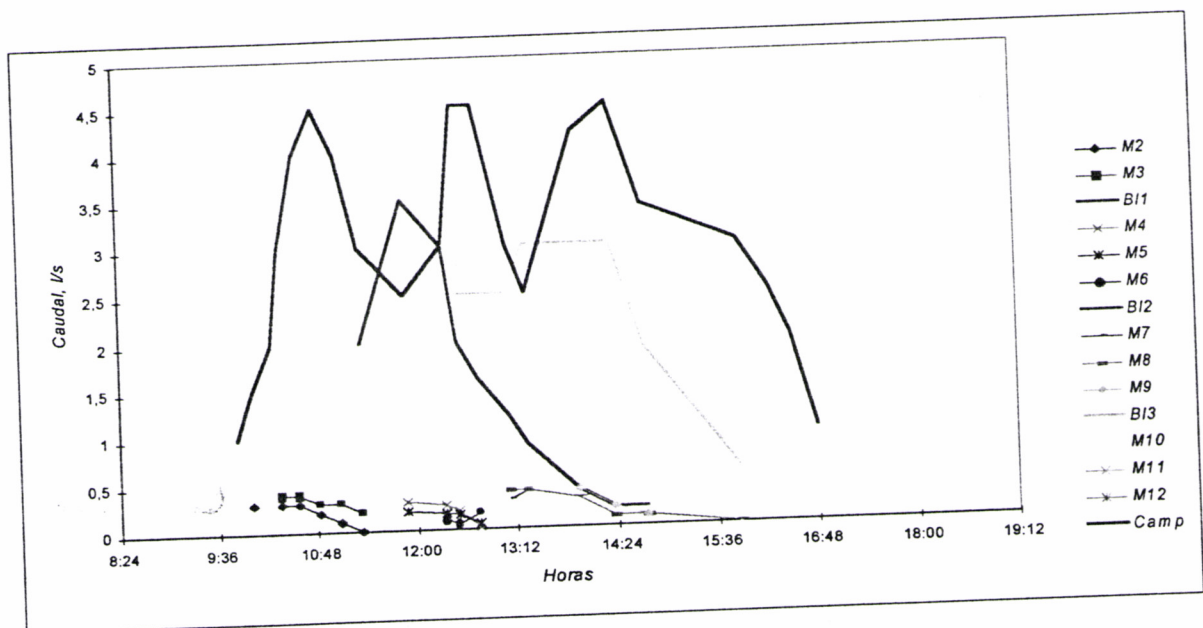
Emprego	Subc	Abertura	fechura	abertura	fechura	avanço	início	início	início	Volume	Duração	eq. inf.	avanço	avanço	Diferença
220	13	8:20	10:02	9:55		1:35	1:42		1910,4	11,6	2,32	75	20	0,32	0,32
220	14	8:24	10:07	9:45		1:21	1:43		1905,6	11,5	2,72	75	6	0,31	0,31
218	15	8:29	10:10	10:00		1:31	1:41		1870,2	11,4	2,40	74	17	0,3	0,3
218	16	8:34	10:15	9:48		1:14	1:41		1830,6	11,2	2,95	74	0	0,29	0,29
216	17	8:39	10:19	10:00	11:35	1:21	1:40	1:35	1792,8	11,1	2,67	73	8	0,28	0,28
216	18	8:44	10:25	9:54	11:38	1:10	1:41	1:44	1753,8	10,8	3,09	73	-3	0,27	0,27
215	19	8:48	10:30	10:07	11:40	1:19	1:42	1:33	1396,8	8,7	2,72	73	6	0,26	0,26
215	20	8:52	10:32	9:54	11:45	1:02	1:40	1:51	1737	10,8	3,47	73	-11	0,25	0,25
214	21	8:56	10:33	10:16	11:48	1:20	1:37	1:32	1725	10,7	2,68	72	8	0,23	0,23
214	22	9:01	10:33	10:05	11:50	1:04	1:32	1:45	1686,6	10,5	3,34	72	-8	0,22	0,22
213	23	9:06	10:35	10:08		1:02	1:29		1648,2	10,3	3,44	72	-10	0,2	0,2
213	24	9:10	10:36	10:11		1:01	1:26		1633,8	10,2	3,49	72	-11	0,17	0,17
212	25	9:14	10:40	10:23		1:09	1:26		1622,4	10,2	3,07	71	-2	0,12	0,12
212	26	9:19	10:40	10:35		1:16	1:21		1582,2	10,0	2,79	71	5	0,08	0,08
211	27	9:24	10:45	10:47		1:23	1:21		1537,2	9,7	2,54	71	12		
211	28	9:29	10:50	10:35		1:06	1:21		1495,2	9,4	3,20	71	-5		
210	29	9:33	10:52	10:40		1:07	1:19		1482,6	9,4	3,13	71	-4		
210	30	9:36	10:56	10:45		1:09	1:20		1500	9,5	3,04	71	-2		
140	31	9:38	11:00	10:20		0:42	1:22		1543,8	14,7	3,33	46	-4		
140	32	9:38	11:01	10:24	12:17	0:46	1:23	1:53	1992	19,0	3,04	46	0		
100	33					0:00	0:00	0:00	18399			32			
209	34	9:42	11:10	11:00	12:30	1:18	1:28	1:30	2088,6	13,3	2,68	70	8		
209	35	9:45	11:14	11:01		1:16	1:29		2106	13,4	2,75	70	6		
209	36	9:49	11:21	11:19		1:30	1:32		2091,6	13,3	2,32	70	20		
207	37	9:53	11:24	11:14		1:21	1:31		2080,8	13,4	2,56	69	12		
207	38	9:56	11:28	11:14		1:18	1:32		2094	13,5	2,65	69	9		
205	39	10:00	11:31	11:10		1:10	1:31		2079,6	13,5	2,93	69	1		
205	40	10:04		11:21		1:17			2058	13,4	2,66	69	8		
204	41	10:08		11:10		1:02			2038,2	13,3	3,29	68	-6		
204	42	10:11		11:14	12:40	1:03		1:26	2039,4	13,3	3,24	68	-5		
204	43	10:15		11:18	12:50	1:03		1:32	2011,8	13,1	3,24	68	-5		
204	44	10:19	11:47	11:22	13:01	1:03	1:28	1:39	1981,2	12,9	3,24	68	-5		
203	45	10:22	11:50	11:20	13:02	0:58	1:28	1:42	1977	13,0	3,50	68	-10		
203	46	10:26	11:54	11:24	13:03	0:58	1:28	1:39	1936,8	12,7	3,50	68	-10		
203	47	10:30	11:56	11:35	13:04	1:05	1:26	1:29	1903,2	12,5	3,12	68	-3		
203	48	10:34	12:02	11:26	13:04	0:52	1:28	1:38	1875,6	12,3	3,90	68	-16		
202	49	10:38	12:06	11:35	13:05	0:57	1:28	1:30	1852,8	12,2	3,54	68	-11		
202	50	10:41	12:10	11:35	13:06	0:54	1:29	1:31	1857,6	12,3	3,74	68	-14		
201	51	10:45	12:13	11:40	13:06	0:55	1:28	1:26	1824,6	12,1	3,65	67	-12		
201	52	10:49	12:14	11:45	13:10	0:56	1:25	1:25	1794,6	11,9	3,59	67	-11		
201	53	10:52	12:17	11:50		0:58	1:25		1795,2	11,9	3,47	67	-9		
201	54	10:56		11:55		0:59			1771,8	11,8	3,41	67	-8		
201	55	11:00		12:00		1:00			1747,2	11,6	3,35	67	-7		
201	56	11:03	12:21	12:05		1:02	1:18		1760,4	11,7	3,24	67	-5		
198	57	11:07	12:25	12:05		0:58	1:18		1736,4	11,7	3,41	66	-8		
198	58	11:11	12:28	12:25	13:57	1:14	1:17	1:32	1717,8	11,6	2,68	66	8		
184	59	11:15	12:33	12:10	13:57	0:55	1:18	1:47	1694,4	12,3	3,35	61	-6		
184	60	11:18	12:33	12:15	13:57	0:57	1:15	1:42	1703,4	12,3	3,23	61	-4		
180	61	11:21	12:33	12:20	13:58	0:59	1:12	1:38	1705,2	12,6	3,05	59	0		
180	62	11:26	12:36	12:24		0:58	1:10		1681,8	12,5	3,10	59	-1		
160	63	11:29	12:40	12:21		0:52	1:11		1702,8	14,2	3,08	54	-2		
160	64	11:32	12:43	12:29		0:57	1:11		1725	14,4	2,81	54	3		
140	65	11:35	12:47	12:20		0:45	1:12		1743	16,6	3,11	46	-1		
140	66	11:39	12:50	12:22		0:43	1:11		1725	16,4	3,26	46	-3		
120	67	11:42	12:59	12:24		0:42	1:17		1737	19,3	2,86	39	3		
120	68	11:45	13:03	12:18		0:33	1:18		1749,6	19,4	3,64	39	-6		
100	69	11:47	13:06	12:20		0:33	1:19		1773	23,6	3,03	32	1		
100	70	11:50	13:10	12:25		0:35	1:20		1801,8	24,0	2,86	32	3		
80	71	11:52	13:13	12:25		0:33	1:21		1825,2	30,4	2,42	27	6		
80	72	11:54	13:13	12:27		0:33	1:19		1863,6	31,1	2,42	27	6		
70	73	11:56		12:20		0:24			1896	36,1	2,92	23	1		
70	74	11:58		12:21		0:23			1936,2	36,9	3,04	23	0		

Anexo 6.3.9-cont. Tempos de avanço observados durante a rega 21

		Início		Fim		Duração		tempo inf.	Volume	Dotação 'el. avanço		Diferença	
comprimento	Subseção	na abertura	fechura	abertura	fechura	avanço	início	fim	aplicado	médias	m/min	simulado	
182	75	11:59	13:20	12:45	14:45	0:46	1:21	2:00	1999,8	14,7	3,96	60	-14
182	76	12:02	13:25	12:40	14:45	0:38	1:23	2:05	2014,2	14,8	4,79	60	-22
181	77	12:06	13:28	13:02	14:48	0:56	1:22	1:46	1986,6	14,6	3,23	60	-4
181	78	12:10	13:31	13:08	14:50	0:58	1:21	1:42	1962,6	14,5	3,12	60	-2
180,5	79	12:13	13:34	13:11	14:52	0:58	1:21	1:41	1960,8	14,5	3,11	59	-1
180,5	80	12:14	13:38	13:06	14:54	0:52	1:24	1:48	2021,4	14,9	3,47	59	-7
180	81	12:17	13:41	13:17	14:58	1:00	1:24	1:41	2038,8	15,1	3,00	59	1
180	82	12:21	13:44	13:18	14:58	0:57	1:23	1:40	2018,4	15,0	3,16	59	-2
181	83	12:25	13:48	13:40	15:00	1:15	1:23	1:20	1991,4	14,7	2,41	60	15
181	84	12:28	13:50	13:50	15:02	1:22	1:22	1:12	1977,6	14,6	2,21	60	22
181	85	12:33	13:53	13:55	15:04	1:22	1:20	1:09	1927,2	14,2	2,21	60	22
181	86	12:36	13:56	13:57	15:06	1:21	1:20	1:09	1926,6	14,2	2,23	60	21
181	87	12:40	13:59	13:57	15:06	1:17	1:19	1:09	1915,8	14,1	2,35	60	17
181	88	12:43	14:01	13:57	15:10	1:14	1:18	1:13	1936,2	14,3	2,45	60	14
182	89	12:47	14:01	13:57		1:10	1:14		1929	14,1	2,60	60	10
182	90	12:50	14:02	13:57		1:07	1:12		1949,4	14,3	2,72	60	7
182	91	12:59	14:07	14:05		1:06	1:08		1804,2	13,2	2,76	60	6
182	92	13:03	14:11	14:05		1:02	1:08		1800,6	13,2	2,94	60	2
182	93	13:06	14:16	14:12		1:06	1:10		1828,2	13,4	2,76	60	6
182	94	13:10	14:25	14:14		1:04	1:15		1824	13,4	2,84	60	4
182	95	13:13	14:25	14:08		0:55	1:12		1831,8	13,4	3,31	60	-5
182	96	13:17	14:30	14:14		0:57	1:13		1819,2	13,3	3,19	60	-3
182	97	13:20	14:35	14:20		1:00	1:15		1836,6	13,5	3,03	60	0
182	98	13:20	14:40	14:19		0:59	1:20		1940,4	14,2	3,08	60	-1
182	99	13:29	14:45	14:24		0:55	1:16		1792,8	13,1	3,31	60	-5
182	100	13:28	14:49	14:28		1:00	1:21		1936,2	14,2	3,03	60	0
182	101	13:31	14:54	14:40		1:09	1:23		1960,8	14,4	2,64	60	9
182	102	13:34	14:54	14:30		0:56	1:20		1992	14,6	3,25	60	-4
160	103	13:38	14:59	14:37		0:59	1:21		1996,8	16,6	2,71	54	5
160	104	13:41	15:04	14:37		0:56	1:23		2027,4	16,9	2,86	54	2
150	105	13:44	15:03	14:40		0:56	1:19		2063,4	18,3	2,68	50	6
150	106	13:45	15:13	14:40		0:55	1:28		2181,6	19,4	2,73	50	5
130	107	13:48	15:17	14:30		0:42	1:29		2214,6	22,7	3,10	43	-1
130	108	13:50	15:22	14:38		0:48	1:32		2281,2	23,4	2,71	43	5
70	109	13:53	15:22	14:12		0:19	1:29		2296,2	43,7	3,68	23	-4
70	110	13:59	15:27	14:19		0:20	1:28		2226,6	42,4	3,50	23	-3
285	111	14:01	15:46	15:46		1:45	1:45		2278,8	10,7	2,71	98	7
284	112	14:02	15:46	15:46		1:44	1:44		2358,6	11,1	2,73	97	7
283	113	14:02	15:46	15:46		1:44	1:44		2464,8	11,6	2,72	97	7
282	114	14:07	15:50	15:52		1:45	1:43		2428,2	11,5	2,69	97	8
281	115	14:11	15:50	15:52		1:41	1:39		2427,6	11,5	2,78	96	5
280	116	14:16	15:51	15:53		1:37	1:35		2392,8	11,4	2,89	96	1
278	117	14:21	15:54	16:12		1:51	1:33		2346,6	11,3	2,50	95	16
276	118	14:25	15:56	16:14		1:49	1:31		2330,4	11,3	2,53	94	15
275	119	14:30	15:56	16:10		1:40	1:26		2281,8	11,1	2,75	94	6
274	120	14:35	15:59	16:24		1:49	1:24		-2488,2	-12,1	2,51	93	16
273	121	14:40	15:59	16:22		1:42	1:19		-4906,2	-24,0	2,68	93	9
272	122	14:45	16:01	16:24		1:39	1:16		-7927,2	-38,9	2,75	92	7
271	123	14:49	16:01	16:25		1:36	1:12		-9747,6	-48,0	2,82	92	4
270	124	14:50	16:04	16:27		1:37	1:14		-10898	-53,8	2,78	92	5
269	125	14:54	16:07	16:30		1:36	1:13		-11547	-57,2	2,80	91	5
268	126	14:59	16:07	16:38		1:39	1:08		-12816	-63,8	2,71	91	8
266	127	15:04	16:15	16:42		1:38	1:11		-13501	-67,7	2,71	90	8
265	128	15:08	16:21	16:40		1:32	1:13		-14159	-71,2	2,88	90	2
264	129	15:13		16:50		1:37			-14849	-75,0	2,72	89	8
263	130	15:17		16:52		1:35			-15512	-78,6	2,77	89	6
262	131	15:22		16:56		1:34			-16207	-82,5	2,79	88	6
256	132	15:27		16:55		1:28			-16907	-88,1	2,91	86	2
256	133	15:31		17:05		1:34			-17579	-91,6	2,72	86	8
145	134	15:36		16:26		0:50			-18286	-168,1	2,90	48	2
144	135	15:46		16:25		0:39			-19725	-182,6	3,69	48	-9
143	136	15:47		16:30		0:43			-20323	-189,5	3,33	48	-5
135	137	15:50		16:25		0:35			-20978	-207,2	3,86	45	-10
132	138	15:51		16:24		0:33			-21579	-218,0	4,00	43	-10
125	139	15:54		16:31		0:37			-22239	-237,2	3,38	41	-4
123	140	15:59		16:35		0:36			-22957	-248,9	3,42	40	-4
115	141	16:01		16:36		0:35			-23591	-273,5	3,29	37	-2
110	142	16:04		16:40		0:36			-24256	-294,0	3,06	36	0
105	143	16:07		16:45		0:38			-24924	-316,5	2,76	34	4
100	144	16:12		16:49		0:37			-25650	-342,0	2,70	32	5
95	145	16:15		16:48		0:33			-26320	-369,4	2,88	30	3
90	146	16:15		16:40		0:25			-26906	-398,6	3,60	29	-4
50	147	16:18		16:37		0:19			-27580	-735,5	2,63	16	3
50	148	16:21		16:35		0:14			-27664	-737,7	3,57	16	-2

Anexo 6.3.10 Caudais excedentes observados durante a rega 21

Excedentes em l.s ⁻¹																
Hora	18 M2	24 M3	43 Bloco 1	51 M4	61 M5	69 M6	76 M6a	80 Bloco 2	88 M7	116 M8	116 M9	116 Bloco 3	116 M10	116 M11	116 M12	Camp
9:50																1,00
10:01																1,50
10:15	0,3							3,5								2,00
10:22		0,4														3,00
10:35	0,3	0,4														4,00
10:50	0,2	0,3														4,50
11:05	0,1	0,3														4,00
11:20	0	0,2						2								3,00
11:52				0,3	0,2			3,5								2,50
12:20				0,25	0,17	0,1		3				2,5				3,00
12:30				0,2	0,15	0,05		2				2,5				4,50
12:45				0,02	0,05	0,17		1,6				2,5				4,50
13:07								1,2	0,3	0,4		3				3,00
13:20								0,9	0,4	0,4		3				2,50
13:57								0,4	0,3	0,3	0,4	3				4,20
14:22								0,2	0,1	0,2	0,2	3				4,50
14:45								0,2	0,1	0,1	0,1	1,9				3,40
15:53									0			0,6	0,2			3,00
16:15													0,2			2,50
16:30													0,1			2,00
16:48													0,1			1,00
17:00																
17:20																
17:40																



Anexo 6.3.11 Tempos de avanço observados durante a rega 23

Notas: A abertura das janelas foi reduzida para d15 Ensaio de abertura das janelas	Rega no	8	Controlo: Avanços			Caudais l.s ⁻¹
	Data	#####	0	8:20		
	Caudal tt	600 540 no C	20	8:26	0:06	
	Diam. Ec	15	40	8:34	0:14	
	t1, t2	37,00 74,00	60	8:40	0:20	
	n calc.	0,052	80	8:46	0:26	
	Eq.inf.	0,00216 ⁴ , 2195	100	8:53	0:33	
	Duração tti		120	8:59	0:39	
	Volume tti		140	9:04	0:44	
	G rec		160	9:11	0:51	
	Gapli	7	180	9:19	0:59	
	Q cont	0,414	200	9:26	1:06	
			220	9:34	1:14	

		Início		Fim		Duração		tempo inf		Volume		Dotação		Avanço		Diferença	
Imprima	Sulco	Abertura	fechura	Abertura	fechura	Avanço	Início	Fim	Aplicado	Médias	Avanço	Simulado					
220	13	10:00	12:46	11:35	14:16	1:35	2:46	2:41	2722,2	16,5	2,32	81	14	0,3			
220	14	10:15	12:48	11:52	14:15	1:37	2:33	2:23	2478,6	15,0	2,27	81	16	0,29			
218	15	10:21	12:51	12:15	14:02	1:54	2:30	1:47	2439,6	14,9	1,91	80	34	0,28			
218	16	10:26	12:55	11:50	14:24	1:24	2:29	2:34	2423,4	14,8	2,60	80	4	0,27			
216	17	10:31	12:59	12:16	14:26	1:45	2:28	2:10	2407,8	14,9	2,06	79	26	0,26			
216	18	10:36	13:07	12:06	14:33	1:30	2:31	2:27	2392,8	14,8	2,40	79	11	0,25			
215	19	10:40	13:11	12:16	14:34	1:36	2:31	2:18	2383,2	14,8	2,24	78	18	0,24			
215	20	10:45	13:13	12:06	14:36	1:21	2:28	2:30	2358	14,6	2,65	78	3	0,23			
214	21	10:50	13:18	12:40	14:28	1:50	2:28	1:48	2336,4	14,6	1,95	78	32	0,21			
214	22	10:55	13:18	12:17	14:29	1:22	2:23	2:12	2307,6	14,4	2,61	78	4	0,2			
213	23	11:00	13:22	12:21	14:35	1:21	2:22	2:14	2285,4	14,3	2,63	78	3	0,19			
213	24	11:05	13:22	12:30	14:41	1:25	2:17	2:11	2278,8	14,3	2,51	78	7	0,18			
212	25	11:10	13:22	12:58	15:07	1:48	2:12	2:09	2254,8	14,2	1,96	77	31	0,17			
212	26	11:15	13:26	12:59	15:12	1:44	2:11	2:13	2232,6	14,0	2,04	77	27	0,15			
211	27	11:20	13:30	13:07	15:13	1:47	2:10	2:06	2208	14,0	1,97	77	30	0,14			
211	28	11:24		12:53	15:20	1:29		2:27	2204,4	13,9	2,37	77	12	0,13			
210	29	11:27		12:49	15:05	1:20		2:16	2227,2	14,1	2,63	76	4	0,11			
210	30	11:29	13:38	12:53		1:19	2:04		2272,2	14,4	2,66	76	3	0,09			
140	31	11:34	13:41	12:20		0:41	2:02		2250	21,4	3,41	50	-9	0,06			
140	32	11:39	13:43	12:19		0:36	2:00		2218,8	21,1	3,89	50	-14				
100	33	11:43	13:50						2222,4								
209	34	11:50	13:54	13:16	15:39	1:21	1:59	2:23	2157	13,8	2,58	76	5				
209	35	11:55	13:59	13:33	15:31	1:33	1:59	1:58	2131,2	13,6	2,25	76	17				
209	36	12:00	14:05	13:50	15:40	1:45	2:00	1:50	2106,6	13,4	1,99	76	29				
207	37	12:05	14:08	13:34	15:44	1:25	1:59	2:10	2080,2	13,4	2,44	75	10				
207	38	12:09	14:12	13:42	15:49	1:28	1:58	2:07	2074,2	13,4	2,35	75	13				
205	39	12:14	14:01	13:44	15:45	1:25	1:42	2:01	2046	13,3	2,41	74	11				
205	40	12:19	14:20	13:37	15:47	1:13	1:56	2:10	2023,2	13,2	2,81	74	-1				
204	41	12:24	14:22	13:49		1:21	1:54		1989,6	13,0	2,52	74	7				
204	42	12:28	14:24	13:40		1:08	1:52		1968	12,9	3,00	74	-6				
204	43	12:32	14:26	14:13	15:33	1:37	1:50	1:20	1947	12,7	2,10	74	23				
204	44	12:36	14:30	14:17	15:44	1:37	1:50	1:27	1930,8	12,6	2,10	74	23				
203	45	12:40	14:33	14:15	15:43	1:31	1:49	1:28	1916,4	12,6	2,23	73	18				
203	46	12:44	14:35	14:18	15:45	1:30	1:47	1:27	1903,8	12,5	2,26	73	17				
203	47	12:48	14:37	14:21	16:00	1:30	1:46	1:39	1892,4	12,4	2,26	73	17				
203	48	12:51	14:38	14:32	15:57	1:37	1:43	1:25	1912,2	12,6	2,09	73	24				
202	49	12:55	14:42	14:23	16:00	1:24	1:43	1:37	1924,8	12,7	2,40	73	11				
202	50	12:59	14:50	14:27	15:51	1:24	1:47	1:24	1927,8	12,7	2,40	73	11				
201	51	13:03	14:49	14:49	15:54	1:42	1:42	1:05	1929	12,8	1,97	73	29				
201	52	13:07	14:59	14:24	16:04	1:17	1:52	1:40	1921,2	12,7	2,61	73	4				
201	53	13:07	14:59	14:29	16:09	1:18	1:48	1:40	2007	13,3	2,58	73	5				
201	54	13:11	15:03	14:30	16:11	1:19	1:52	1:41	2005,2	13,3	2,54	73	6				
201	55	13:15	15:03	14:32		1:17	1:48		1999,8	13,3	2,61	73	4				
201	56	13:18	15:05	14:36		1:18	1:47		2014,8	13,4	2,58	73	5				
198	57	13:22	15:07	14:41		1:19	1:45		2011,2	13,5	2,51	71	8				
198	58	13:30	15:10	14:50		1:20	1:40		1910,4	12,9	2,48	71	9				
184	59	13:33	15:12	14:49		1:16	1:39		1929	14,0	2,42	66	10				
184	60	13:36	15:15	14:54		1:18	1:39		1953	14,2	2,36	66	12				
180	61	13:39	15:17	14:58		1:19	1:38		1971,6	14,6	2,28	68	11				
180	62	13:43	15:20	14:52		1:09	1:37		1963,8	14,5	2,61	68	1				
160	63	13:47	15:40	14:48		1:01	1:53		1957,8	16,3	2,62	59	2				
160	64	13:51	15:43	14:50		0:59	1:52		1952,4	16,3	2,71	59	0				
140	65	13:55	15:47	14:47		0:52	1:52		1942,2	18,5	2,69	50	2				
140	66	13:57	15:50	14:46		0:49	1:53		1986	18,9	2,86	50	-1				
120	67	14:03	15:52	14:46		0:43	1:49		1934,4	21,5	2,79	42	1				
120	68	14:07	15:47	14:44		0:37	1:40		1924,2	21,4	3,24	42	-5				
100	69	14:10	15:58	14:43		0:33	1:48		1945,2	25,9	3,03	35	-2				
100	70	14:14	16:00	14:46		0:32	1:46		1938	25,8	3,13	35	-3				
80	71	14:18	16:04	14:45		0:27	1:46		1930,2	32,2	2,96	29	-2				
80	72	14:21	16:08	14:48		0:27	1:47		1965,6	32,8	2,96	29	-2				
70	73	14:25	16:10	14:51		0:26	1:45		1967,4	37,5	2,69	25	1				
70	74	14:30	16:14	14:51		0:21	1:44		1944,6	37,0	3,33	25	-4				

Anexo 6.3.11-cont. Tempos de avanço observados durante a rega 23. 1999

Comprime	Sulco	Início		Fim		Duração	tempo inf.		Volume	Dotação	el. avanço	Avanço	Diferença
		para abertura	para fechura	abertura	fechura	avanço	início	fim	aplicado	média	m/min.	simulado	
182	75	14:31	16:18	15:35	17:31	1:04	1:47	1:56	2015,4	14,8	2,84	69	-5
182	76	14:31	16:21	15:39	17:40	1:08	1:50	2:01	2103	15,4	2,68	69	-1
181	77	14:34	16:25	15:36	17:33	1:02	1:51	1:57	2113,2	15,6	2,92	69	-7
181	78	14:36	16:30	15:41	17:39	1:05	1:54	1:58	2152,2	15,9	2,78	69	-4
180,5	79	14:40	16:40	15:40	17:48	1:00	2:00	2:08	2164,8	16,0	3,01	68	-8
180,5	80	14:44	16:45	15:42	17:49	0:58	2:01	2:07	2173,8	16,1	3,11	68	-10
180	81	14:47	16:45	15:55	18:09	1:08	1:58	2:14	2205,6	16,3	2,65	68	0
180	82	14:54	16:47	16:07	17:59	1:13	1:53	1:52	2148	15,9	2,47	68	5
181	83	15:03	16:50	16:09	17:51	1:06	1:47	1:42	2038,2	15,0	2,74	69	-3
181	84	15:07	17:00	16:20	18:02	1:13	1:53	1:42	2044,2	15,1	2,48	69	4
181	85	15:10	17:05	16:23	18:10	1:13	1:55	1:47	2078,4	15,3	2,48	69	4
181	86	15:14	17:10	16:27	18:16	1:13	1:56	1:49	2086,8	15,4	2,48	69	4
181	87	15:18	17:14	16:48	18:12	1:30	1:56	1:24	2091,6	15,4	2,01	69	21
181	88	15:22	17:17	16:30	18:25	1:08	1:55	1:55	2091	15,4	2,66	69	-1
182	89	15:25	17:20	16:46		1:21	1:55		2112,6	15,5	2,25	69	12
182	90	15:28	17:25	16:51		1:23	1:57		2126,4	15,6	2,19	69	14
182	91	15:31	17:30	16:59		1:28	1:59		2164,8	15,9	2,07	69	19
182	92	15:35	17:35	17:01		1:26	2:00		2177,4	16,0	2,12	69	17
182	93	15:39	17:40	16:57		1:18			2188,2	16,0	2,33	69	9
182	94	15:43	17:42	16:57		1:14	1:59		2196	16,1	2,46	69	5
182	95	15:47	17:47	17:05		1:18	2:00		2208	16,2	2,33	69	9
182	96	15:50	17:50	17:05		1:15	2:00		2242,8	16,4	2,43	69	6
182	97	15:54	17:55	17:05		1:11	2:01		2272,8	16,7	2,56	69	2
182	98	15:58	18:00	17:09		1:11	2:02		2277,6	16,7	2,56	69	2
182	99	16:01	18:05	17:12		1:11	2:04		2313,6	16,9	2,56	69	2
182	100	16:05	18:08	17:12		1:07	2:03		2326,8	17,0	2,72	69	-2
182	101	16:09	18:12	17:07		0:58	2:03		2335,2	17,1	3,14	69	-11
182	102	16:13	18:18	17:19		1:06	2:05		2352	17,2	2,76	69	-3
160	103	16:17	18:23	17:26		1:09	2:06		2363,4	19,7	2,32	59	10
160	104	16:20	18:23	17:29		1:09	2:03		2386,2	19,9	2,32	59	10
150	105	16:24	18:34	17:24		1:00	2:10		2395,2	21,3	2,50	54	6
150	106	16:32	18:37	17:21		0:49	2:05		2302,8	20,5	3,06	54	-5
130	107	16:36	18:38	17:18		0:42	2:02		2295,6	23,5	3,10	46	-4
130	108	16:40	18:40	17:17		0:37	2:00		2298,6	23,6	3,51	46	-9
70	109	16:44	18:45	17:11		0:27	2:01		2287,2	43,6	2,59	25	2
70	110	16:47	18:50	17:11		0:24	2:03		2292,6	43,7	2,92	25	-1
285	111	16:48		18:42		1:54			2344,2	11,0	2,50	106	8
284	112	16:51		18:51		2:00			2344,8	11,0	2,37	105	15
283	113	17:00		18:58		1:58			2203,8	10,4	2,40	105	13
282	114	17:05		18:58		1:53			2154	10,2	2,50	104	9
281	115	17:10		19:00		1:50					2,55	104	6
280	116	17:15		19:05		1:50					2,55	103	7
278	117	17:19		19:11		1:52					2,48	103	9
276	118	17:24		19:14		1:50					2,51	102	8
275	119	17:29		19:20		1:51					2,48	101	10
274	120	17:34		19:18		1:44					2,63	101	3
273	121	17:38		19:24		1:46					2,58	100	6
272	122	17:41		19:34		1:53					2,41	100	13
271	123	17:44		19:38		1:54					2,38	99	15
270	124	17:44		19:30		1:46					2,55	99	7
269	125	17:54		19:45		1:51					2,42	99	12
268	126	17:58		19:50		1:52					2,39	98	14
266	127	18:03		20:00		1:57					2,27	98	13
265	128	18:08		20:03		1:55					2,30	98	12
264	129	18:13		20:10		1:57					2,26	98	15
263	130	18:18		20:14		1:56					2,27	98	14
262	131	18:27		20:22		1:55					2,28	98	14
256	132	18:28		20:20		1:52					2,29	98	14
256	133	18:33		19:58		1:25					3,01	98	-13
145	134	18:38		19:46		1:08					2,13	52	16
144	135	18:43		19:45		1:02					2,32	52	10
143	136	18:47		19:48		1:01					2,34	51	10
135	137	18:50		19:45		0:55					2,45	48	7
132	138	18:53		19:40		0:47					2,81	47	0
125	139	18:56		19:38		0:42					2,98	44	-2
123	140	18:59		19:48		0:49					2,51	43	6
115	141	19:00		19:43		0:43					2,67	40	3
110	142	19:04		19:38		0:34					3,24	38	-4
105	143	19:05		19:42		0:37					2,84	37	0
100	144	19:06		19:40		0:34					2,94	35	-1
95	145	19:07		19:41		0:34					2,79	33	1
90	146	19:07		19:34		0:27					3,33	33	-6
50	147	19:08		19:24		0:16					3,13	18	-2
50	148	19:09		19:23		0:14					3,57	18	-4

Excedentes em l.s.¹

The graph displays the caudal flow rate (I/s) for various subjects over time. The Y-axis represents Caudal, I/s, ranging from 0 to 5. The X-axis represents Tempo, with time points from 9:36 to 20:24. The legend identifies the subjects: M2, M3, BI1, M4, M5, M6, M6a, BI2, M7, M8, M9, BI3, M10, M11, M12, and Camp. The Camp series shows a significant peak of 5 I/s at 13:12. Other series like M4, M5, and M6a show smaller peaks around 13:12 and 15:36.

Tempo	Camp	M4	M5	M6a	M10	M11	M12
12:00	1.0						
12:12	2.2						0.3
12:24	3.0						0.3
12:36	3.5						0.3
12:48	4.0						0.3
13:00	4.2						0.3
13:12	5.0						0.3
13:24	3.5						0.3
13:36	3.5						0.1
14:00	1.5	0.2					
14:24	3.5						
14:48	2.5						
15:00	2.0						
15:12	1.5						
15:24	1.5						
15:36	3.0						
15:48	2.5						
16:00	3.5						
16:24	4.5						
16:48	4.5						
17:00	4.5						
17:12	4.2						
17:24	3.5						
17:36	2.0						

Anexo 6.3.13 Tempos de avanço observados durante a rega 26

Rega no 8										Controlo: Avanços				Caudais l.s ⁻¹	
Data #####										0 8:19				0,66	
Caudal tt 600										20 8:23 0:04				0,64	
Diam. Ec real 23 no prog 3										40 8:27 0:08				0,62	
t1, t2 27,00 54,00										60 8:31 0:12				0,61	
n calc. 0,045										80 8:36 0:17				0,59	
Eq inf. 0,00222* Eq. com										100 8:41 0:22				0,57	
Duração tti										120 8:46 0:27				0,55	
Volume t 0										140 8:50 0:31				0,53	
Dotação 9										160 8:56 0:37				0,51	
										180 9:01 0:42				0,49	
										200 9:06 0:47				0,46	
										220 9:13 0:54				0,44	
														0,41	
														0,38	
														0,35	
														0,32	
														0,29	
														0,25	
														0,2	
														0,13	

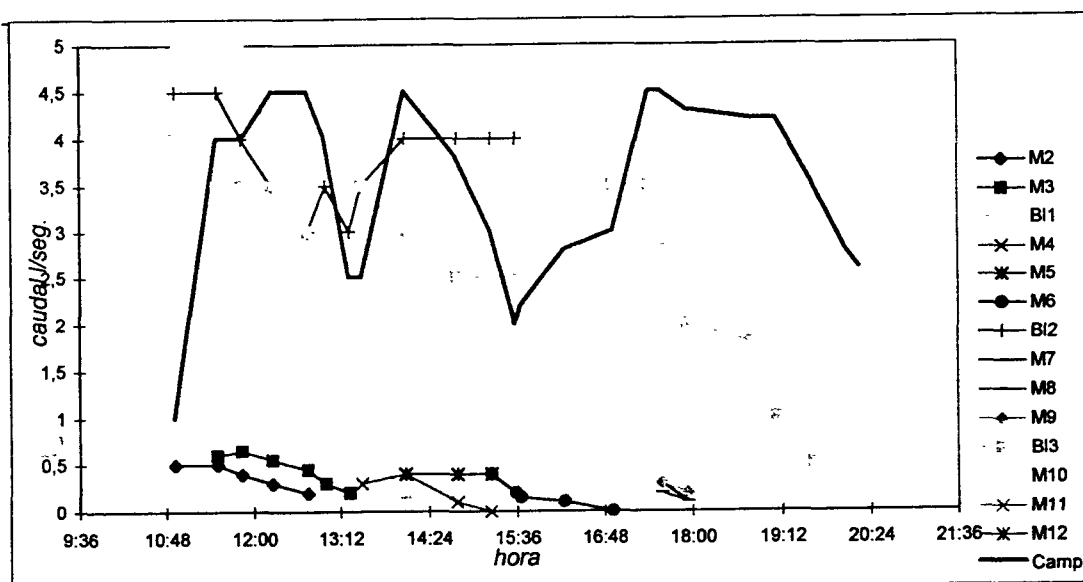
Anexo 6.3.13-cont. Tempos de avanço observados durante a rega 26. 1999

Comprimento		Início		Fim		Duração		tempo inf.		Volume	Dotação 'el. avanç		Avanço		Diferença	
Sulco	ra	abertura	fechura	abertura	fechura	avanço	início	fim	aplicado	média	m/min.	simulado				
182	75	15:12	16:40	15:44	18:03	0:32	1:28	2:19	2842,2	20,8	5,69	50	-18			
182	76	15:12	16:47	16:26	18:10	1:14	1:35	1:44	3037,2	22,3	2,46	50	24			
181	77	15:30	16:51	16:25	18:15	0:55	1:21	1:50	2511	18,5	3,29	49	6			
181	78	15:35	16:56	16:27	18:20	0:52	1:21	1:53	2502	18,4	3,48	49	3			
180,5	79	15:39	16:59	16:31	18:20	0:52	1:20	1:49	2533,8	18,7	3,47	49	3			
180,5	80	15:42	17:05	16:32	18:30	0:50	1:23	1:58	2601	19,2	3,61	49	1			
180	81	15:46	17:10	16:34	18:37	0:48	1:24	2:03	2625,6	19,4	3,75	49	-1			
180	82	15:51	17:14	16:36	18:40	0:45	1:23	2:04	2631	19,5	4,00	49	-4			
181	83	15:56	17:18	16:43	18:42	0:47	1:22	1:59	2678,4	19,7	3,85	49	-2			
181	84	16:01	17:22	16:51	18:50	0:50	1:21	1:59	2725,2	20,1	3,62	49	1			
181	85	16:05	17:29	16:59		0:54	1:24		2787	20,5	3,35	49	5			
181	86	16:09	17:42	17:12		1:03	1:33		2836,8	20,9	2,87	49	14			
181	87	16:14	17:45	17:17		1:03	1:31		2839,8	20,9	2,87	49	14			
181	88	16:20	17:50	17:20		1:00	1:30		2836,8	20,9	3,02	49	11			
182	89	16:25	17:56	17:29		1:04	1:31		2838,6	20,8	2,84	50	14			
182	90	16:30	18:00	17:30		1:00	1:30		2815,8	20,6	3,03	50	10			
182	91	16:35	18:09	17:32		0:57	1:34		2832	20,7	3,19	50	7			
182	92	16:40	18:10	17:42		1:02	1:30		2855,4	20,9	2,94	50	12			
182	93	16:46	18:11	17:35		0:49	1:25		2848,8	20,9	3,71	50	-1			
182	94	16:51	18:20	17:40		0:49	1:29		2878,2	21,1	3,71	50	-1			
182	95	16:56	18:27	17:38		0:42	1:31		2928	21,5	4,33	50	-8			
182	96	16:59	18:38	17:44		0:45	1:39		3042	22,3	4,04	50	-5			
182	97	17:04	18:49	17:45		0:41	1:45		3084	22,6	4,44	50	-9			
182	98	17:09	18:54	17:45		0:36	1:45		3136,2	23,0	5,06	50	-14			
182	99	17:14	19:01	17:52		0:38	1:47		3133,8	23,0	4,79	50	-12			
182	100	17:18	19:08	17:58		0:40	1:50		3291	24,1	4,55	50	-10			
182	101	17:22	19:08	18:00		0:38	1:46		3501	25,6	4,79	50	-12			
182	102	17:29	19:27	18:10		0:41	1:58		3547,8	26,0	4,44	50	-9			
160	103	17:40	19:44	18:21		0:41	2:04		3417	28,5	3,90	43	-2			
160	104	17:48	19:51	18:29		0:41	2:03		3381	28,2	3,90	43	-2			
150	105	17:52	19:58	18:34		0:42	2:06		3496,8	31,1	3,57	40	2			
150	106	17:56	20:04	18:30		0:34	2:08		3630,6	32,3	4,41	40	-6			
130	107	18:00	20:04	18:41		0:41	2:04		3768	38,6	3,17	36	5			
130	108	18:09		18:45		0:36			3689,4	37,8	3,61	36	0			
70	109	18:11		18:26		0:15			3898,2	74,3	4,67	19	-4			
70	110	18:12		18:26		0:14			4149,6	79,0	5,00	19	-5			
285	111	18:20		19:57		1:37			4117,8	19,3	2,94	78	19			
284	112	18:27		20:06		1:39			4131	19,4	2,87	78	21			
283	113	18:34		20:10		1:36			4137	19,5	2,95	78	18			
282	114	18:40		19:51		1:11			4170,6	19,7	3,97	77	-6			
281	115	18:49		20:00		1:11			4067,4	19,3	3,96	77	-6			
280	116	18:54		20:11		1:17			4128	19,7	3,64	77	0			
278	117	19:01		20:21		1:20			4087,8	19,6	3,48	79	1			
276	118	19:08		20:41		1:33			4047,6	19,6	2,97	78	15			
275	119	19:08		20:51		1:43			4291,8	20,8	2,67	78	25			
274	120	19:27		20:46		1:19			3761,4	18,3	3,47	78	1			
273	121	19:44		20:56		1:12			3284,4	16,0	3,79	77	-5			
272	122	19:51		21:01		1:10			3195	15,7	3,89	77	-7			
271	123	19:58		21:13		1:15			3103,8	15,3	3,61	76	-1			
270	124	20:04		21:16		1:12			3043,8	15,0	3,75	76	-4			
269	125	20:10		21:32		1:22			2970,6	14,7	3,28	76	6			
268	126	20:18		21:40		1:22			2821,2	14,0	3,27	75	7			
266	127	20:25		21:36		1:11			2695,2	13,5	3,75	75	-4			
265	128	20:30		21:50		1:20			2641,2	13,3	3,31	74	6			
264	129	18:13		20:10		1:57					2,26	74	15			
263	130	18:18		20:14		1:56					2,27	74	14			
262	131	18:27		20:22		1:55					2,28	74	14			
256	132	18:28		20:20		1:52					2,29	74	14			
256	133	18:33		19:58		1:25					3,01	74	-13			
145	134	18:38		19:46		1:08					2,13	52	16			
144	135	18:43		19:45		1:02					2,32	52	10			
143	136	18:47		19:48		1:01					2,34	51	10			
135	137	18:50		19:45		0:55					2,45	48	7			
132	138	18:53		19:40		0:47					2,81	47	0			
125	139	18:56		19:38		0:42					2,98	44	-2			
123	140	18:59		19:48		0:49					2,51	43	6			
115	141	19:00		19:43		0:43					2,67	40	3			
110	142	19:04		19:38		0:34					3,24	38	-4			
105	143	19:05		19:42		0:37					2,84	37	0			
100	144	19:06		19:40		0:34					2,94	35	-1			
95	145	19:07		19:41		0:34					2,79	33	1			
90	146	19:07		19:34		0:27					3,33	33	-6			
50	147	19:08		19:24		0:16					3,13	18	-2			
50	148	19:09		19:23		0:14					3,57	18	-4			

Anexo 6.3.14 Caudais excedentes observados durante a rega 26

Excedentes em l.s

Hora	18	24	43	51	61	69	76	80	88	116						
Hora	M2	M3	Bloco 1	M4	M5	M6	M6a	Bloco 2	M7	M8	M9	Bloco 3	M10	M11	M12	Camp
10:55	0,5			5				4,5				4				1
11:30	0,5	0,6	5					4,5				3,5				4
11:50	0,4	0,65	5					4				3,5				4
12:15	0,3	0,55	4					3,5				3,5				4,5
12:45	0,2	0,45	3					3				3				4,5
13:00		0,3	2					3,5				3				4
13:20		0,2	1					3								2,5
13:30			0,7	0,3				3,5				3,5				2,5
14:05			0,2	0,4	0,4			4				3				4,5
14:47				0,1	0,4			4				2,5				3,8
15:15				0	0,4	0,4		4				2,5				3
15:35						0,2		4				2,5				2
15:39						0,15	0,3					2,5				2,2
16:15						0,1	0,1					3,2				2,8
16:55						0						3,5				3
17:25												3,5				4,5
17:35									0,3	0,2	0,3	2,8				4,5
17:56									0,1	0,1	0,2	2				4,3
18:48												1,8				4,2
19:08												1				4,2
19:38												0,5				3,5
20:04																2,8
20:15																



Anexo 6.3.15 Tempos de avanço observados durante a rega 27

Rega no 27			Controlo: Avanços			Caudais	
Data #####			0	8:13		l.s ⁻¹	
Caudal tt 540			20	8:17	0 04	0,65	
Diam. Ec 23			40	8:22	0:09	0,64	
t1, t2 27,00 54,00			60	8:26	0:13	0,62	
n calc.			80	8:30	0:17	0,6	
Eq.inf. 0,00222 ^{1/4} 256			100	8:35	0:22	0,58	
Duração tti			120	8:40	0:27	0,56	
Volume t 0			140	8:43	0:30	0,54	
Dot. reco 4			160	8:49	0:36	0,52	
			180	8:55	0:42	0,49	
			200	9:00	0:47	0,47	
			220	9:07	0:54	0,45	
						0,42	
						0,39	
Início			Fim			Duração tempo inf	
comprime			Suco			início	
220	13	9:13				0:00	1464,6
220	14	9:17				0:00	1378,95
218	15	9:20				0:00	1317,45
218	16	9:23				0:00	1295,85
216	17	9:26				0:00	1297,5
216	18	9:30				0:00	1240,35
215	19	9:33				0:00	1210,35
215	20	9:36				0:00	1190,55
214	21	9:40				0:00	1163,1
214	22	9:43				0:00	1124,7
213	23	9:46				0:00	1095,9
213	24	9:48				0:00	1114,8
212	25	9:50				0:00	1130,7
212	26	9:53				0:00	1093,8
211	27	9:55				0:00	1104
211	28	9:57				0:00	1120,2
210	29	9:59				0:00	1245
210	30	10:01				0:00	1390,5
140	31	10:01				0:00	1449,3
140	32	10:02				0:00	1571,7
100	33	10:02				0:00	1703,7
209	34	10:03				0:00	1816,2
209	35	10:09				0:00	1718,4
209	36	10:12				0:00	1746
207	37	10:15				0:00	1765,8
207	38	10:18				0:00	1755,6
205	39	10:22				0:00	1714,8
205	40	10:24				0:00	1766,4
204	41	10:26				0:00	1810,2
204	42	10:28				0:00	1839,6
204	43	10:31				0:00	1834,8
204	44	10:33				0:00	1876,2
203	45	10:35				0:00	1908,6
203	46	10:37				0:00	1918,2
203	47	10:40				0:00	1889,4
203	48	10:55				0:00	1384,2
202	49	10:59				0:00	1299
202	50	11:02				0:00	1238,1
201	51	11:06				0:00	1139,4
201	52	11:09				0:00	1074,9
201	53	11:12				0:00	1005,3
201	54	11:15				0:00	931,8
201	55	11:19				0:00	816,6
201	56	11:21				0:00	788,7
198	57	11:23				0:00	781,2
198	58	11:25				0:00	776,4
184	59	11:28				0:00	722,7
184	60	11:30				0:00	702
180	61	11:32				0:00	704,4
180	62	11:34				0:00	708,9
160	63	11:37				0:00	716,7
160	64	11:38				0:00	850,2
140	65	11:39				0:00	896,1
140	66	11:40				0:00	949,8
120	67	11:41				0:00	981,5
120	68	11:42				0:00	1074,45
100	69	11:42				0:00	1158
100	70	11:43				0:00	1239,45
80	71	11:43				0:00	1320,75
80	72	11:44				0:00	1401,45
70	73	11:44				0:00	1489,2
70	74	11:45				0:00	1583,1

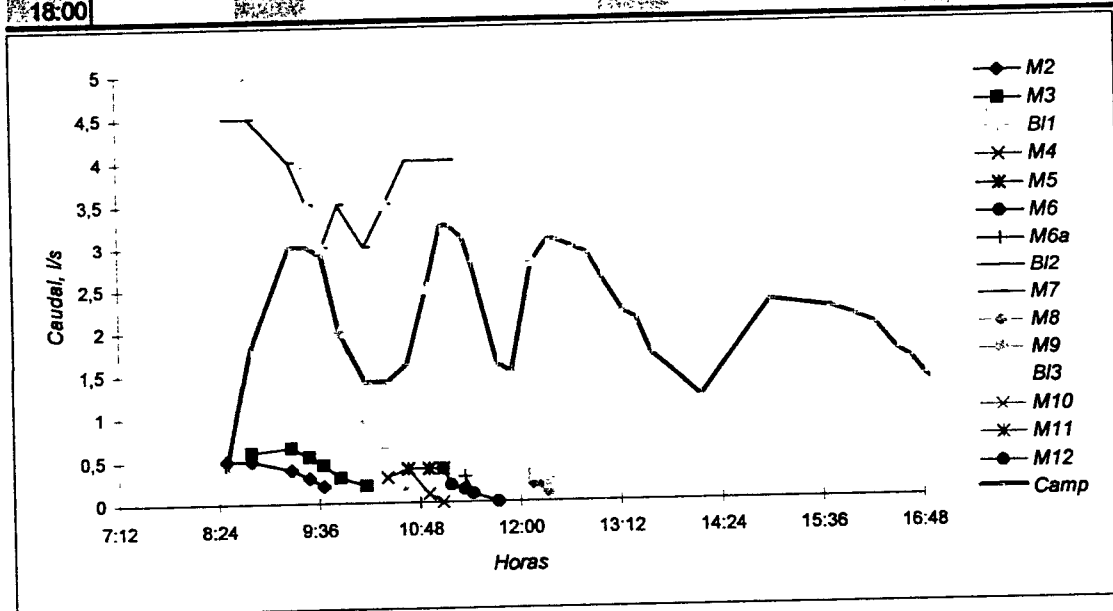
Anexo 6.3.15-cont. Tempos de avanço observados durante a rega 27

Comprimento	Sulco	Início	Fim	Duração	tempo inf.	tempo inf.	Volume	Dotação 'el. avang	Avanço	Diferença
		ra abertura	hora fechura	abertura	hora fechura	avanço	aplicado	média	m/min.	simulado
182	75	11:47					1602,2	11,7		
182	76	11:50					1585,1	11,6		
181	77	11:53					1566,8	11,5		
181	78	11:55					1595,1	11,8		
180,5	79	11:57					1623,5	12,0		
180,5	80	12:01					1560	11,5		
180	81	12:03					1583,4	11,7		
180	82	12:13					1284,6	9,5		
181	83	12:18					1152	8,5		
181	84	12:21					1094,6	8,1		
181	85	12:23					1067,3	7,9		
181	86	12:25					1035,5	7,6		
181	87	12:27					999,45	7,4		
181	88	12:30					960,6	7,1		
182	89	12:32					929,4	6,8		
182	90	12:34					894,3	6,6		
182	91	12:36					856,2	6,3		
182	92	12:39					815,1	6,0		
182	93	12:41					845,1	6,2		
182	94	12:43					849,6	6,2		
182	95	12:45					870,3	6,4		
182	96	12:47					901,8	6,6		
182	97	12:50					883,5	6,5		
182	98	12:52					895,5	6,6		
182	99	12:54					917,1	6,7		
182	100	12:57					909,6	6,7		
182	101	12:58					1096,5	8,0		
182	102	12:59					1373,4	10,1		
160	103	12:59					1482	12,4		
160	104	13:00					1634,7	13,6		
150	105	13:00					1793,1	15,9		
150	106	13:01					1947,6	17,3		
130	107	13:01					2123,7	21,8		
130	108	13:02					2293,5	23,5		
70	109	13:02					2473,5	47,1		
70	110	13:03					2634	50,2		
285	111	13:08					2613	12,2		
284	112	13:12					2638,2	12,4		
283	113	13:16					2659,5	12,5		
282	114	13:20					2631,9	12,4		
281	115	13:25					2592,6	12,3		
280	116	13:28					2618,7	12,5		
278	117	13:31					2637	12,6		
276	118	13:34					2638,8	12,7		
275	119	13:38					2597,1	12,6		
274	120	13:57					1953,9	9,5		
273	121	14:05					1720,2	8,4		
272	122	14:10					1594,8	7,8		
271	123	14:15					1467,6	7,2		
270	124	14:18					1412,4	7,0		
269	125	14:23					1272,3	6,3		
268	126	14:27					1166,1	5,8		
266	127	14:32					1016,1	5,1		
265	128	14:36					899,7	4,5		
264	129	14:40					888,6	4,5		
263	130	14:43					832,2	4,2		
262	131	14:47					576,3	2,9		
256	132	14:50					570,9	3,0		
256	133	14:51					558	2,9		
145	134	14:53					597,6	5,5		
144	135	14:55					603	5,6		
143	136	14:56								
135	137	14:57								
132	138	14:58								
125	139	14:59								
123	140	15:00								
115	141	15:00								
110	142	15:01								
105	143	15:01								
100	144	15:02								
95	145	15:02								
90	146	15:03								
50	147	15:03								
50	148	15:17								

Anexo 6.3.16 Caudais excedentes observados durante a rega 27

Excedentes em l/s

	18	324	43	51	61	69	76	80	88	116								
	M2	M3	Bloco 1	M4	M5	M6	M6a	Bloco 2	M7	M8	M9	Bloco 3	M10	M11	M12	Camp		
Hora	M2	M3	BI1	M4	M5	M6	M6a	BI2	M7	M8	M9	BI3	M10	M11	M12	Camp		
8:30	0,5		5					4,5				4				0,4		
8:48	0,5	0,6	5					4,5				3,5				1,8		
9:17	0,4	0,65	5					4				3,5				3		
9:30	0,3	0,55	4					3,5				3,5				3		
9:40	0,2	0,45	3					3				3				2,9		
9:52		0,3	2					3,5				3				2		
10:10		0,2	1					3								1,4		
10:25			0,7	0,3				3,5				3,5				1,4		
10:40			0,2	0,4	0,4			4				3				1,6		
10:55				0,1	0,4			4				2,5				2,5		
11:05				0	0,4	0,4		4				2,5				3,2		
11:11					0,2	0,2		4				2,5				3,2		
11:21					0,15	0,3						2,5				3,1		
11:27					0,1	0,1						3,2				2,8		
11:45					0							3,5				1,6		
11:55												3,5				1,5		
12:10									0,3	0,2	0,3	2,8				2,8		
12:21									0,1	0,1	0,2	2				3,1		
12:27												1,8				3,1		
12:40												1				3,0		
12:50												0,5				2,9		
13:00																2,6		
13:15																2,2		
13:25																2,1		
13:35																1,7		
14:10																1,2		
15:00																2,3		
15:45																2,2		
16:00																2,1		
16:15																2,0		
16:30																1,7		
16:40																1,6		
16:50																1,4		
17:15																1,1		
17:30																0,8		
17:45																0,6		
18:00																0,4		



Anexo 6.3.17 Tempos de avanço observados durante a rega 29

Rega no 29		Controlo: Avanços		Caudais l.s ⁻¹
Data	23-08-1999	0	7:00	
Caudal tt	540	20	7:06	0,65
Diam. Ec	23	40	7:12	0,64
t1, t2	27,00 54,00	60	7:17	0,62
n calc.		80	7:22	0,6
Eq.inf.	0,00222*t ^{1,256}	100	7:28	0,58
Duração	0,42014	120	7:34	0,56
Volume t	226,875	140	7:39	0,54
		160	7:45	0,52
		180	7:52	0,49
		200	7:59	0,47
		220	8:07	0,45

Notas:		Rega no 29		Controlo: Avanços		Caudais l.s ⁻¹
comparação com a rega 27-CABOI99		Data	23-08-1999	0	7:00	
Esta rega é com Caboc99		Caudal tt	540	20	7:06	0,65
Rega 28 foi no 'sabado		Diam. Ec	23	40	7:12	0,64
		t1, t2	27,00 54,00	60	7:17	0,62
		n calc.		80	7:22	0,6
		Eq.inf.	0,00222*t ^{1,256}	100	7:28	0,58
		Duração	0,42014	120	7:34	0,56
		Volume t	226,875	140	7:39	0,54
				160	7:45	0,52
				180	7:52	0,49
				200	7:59	0,47
				220	8:07	0,45

Início		Fim		Duração tempo inf.		Volume		Dotação 'el. avanç		Avanço		Diferença
comprime	Sulco	ra abertura	hora fechura	abertura	hora fech	avanco	inicio	fim	aplicado	média	m/min. simulado	
220	13	8:13	9:31	9:00	10:10	0:47	1:18	1:10	0	0,0	4,68	60 -13
220	14	8:17	9:34	9:20	10:15	1:03	1:17	0:55	0	0,0	3,49	60 3
218	15	8:21	9:37	9:20	10:20	0:59	1:16	1:00	0	0,0	3,69	59 0
218	16	8:25	9:40	9:17	10:30	0:52	1:15	1:13	0	0,0	4,19	59 -7
216	17	8:29	9:43	9:33	10:40	1:04	1:14	1:07	0	0,0	3,38	58 6
216	18	8:33	9:46	9:26	10:50	0:53	1:13	1:24	0	0,0	4,08	58 -5
215	19	8:37	9:50	9:38	10:55	1:01	1:13	1:17	0	0,0	3,52	58 3
215	20	8:41	9:52	9:30	10:55	0:49	1:11	1:25	0	0,0	4,39	58 -9
214	21	8:45	9:55	9:51	11:01	1:06	1:10	1:10	0	0,0	3,24	58 8
214	22	8:49	9:58	9:41	11:00	0:52	1:09	1:19	0	0,0	4,12	58 -6
213	23	8:53	10:00	10:18	11:02	1:25	1:07	0:44	0	0,0	2,51	58 27
213	24	8:57	10:00	9:51	11:03	0:54	1:03	1:12	0	0,0	3,94	58 -4
212	25	9:01	10:02	10:20	11:04	1:19	1:01	0:44	0	0,0	2,68	57 22
212	26	9:05	10:04	10:14	11:06	1:09	0:59	0:52	0	0,0	3,07	57 12
211	27	9:09	10:06	10:26	11:08	1:17	0:57	0:42	0	0,0	2,74	59 18
211	28	9:13	10:09	10:12	11:06	0:59	0:56	0:54	0	0,0	3,58	59 0
210	29	9:17	10:12	10:10		0:53	0:55		0	0,0	3,96	59 -6
210	30	9:21	10:15	10:00	11:02	0:39	0:54	1:02	0	0,0	5,38	59 -20
140	31	9:24	10:19	10:05	11:03	0:41	0:55	0:58	0	0,0	3,41	39 2
140	32	9:25	10:22	10:07	11:00	0:42	0:57	0:53	0	0,0	3,33	39 3
100	33	9:26	10:25									
209	34	9:26	10:28	10:25	11:20	0:58	1:01	0:55	0	0,0	3,57	59 -1
209	35	9:30	10:31	10:33	11:25	1:02	1:00	0:52	0	0,0	3,34	59 3
209	36	9:34	10:35	10:38	11:25	1:03	1:00	0:47	0	0,0	3,29	59 4
207	37	9:38	10:41	10:43	11:30	1:04	1:02	0:47	0	0,0	3,21	58 6
207	38	9:42	10:45	10:45	11:35	1:02	1:02	0:50	0	0,0	3,31	58 4
205	39	9:46	10:48	10:48	11:40	1:01	1:01	0:52	0	0,0	3,33	57 4
205	40	9:50	10:51	10:50	11:45	0:59	1:00	0:55	0	0,0	3,45	57 2
204	41	9:54	10:51	10:55	11:45	1:00	0:56	0:50	0	0,0	3,37	57 3
204	42	9:58	10:54	10:56	11:50	0:57	0:55	0:54	0	0,0	3,55	57 0
204	43	10:02	10:57	10:58	11:55	0:55	0:54	0:57	0	0,0	3,68	57 -2
204	44	10:06	1:00	11:00	11:57	0:53		0:57	0	0,0	3,81	57 -4
203	45	10:10	11:04	11:02	12:00	0:51	0:53	0:58	0	0,0	3,94	56 -5
203	46	10:14	11:07	11:04	12:05	0:49	0:52	1:01	0	0,0	4,10	56 -7
203	47	10:18	11:09	11:08	12:00	0:50	0:51	0:52	0	0,0	4,06	56 -6
203	48	10:21	11:12	11:18	12:15	0:56	0:50	0:57	0	0,0	3,59	56 0
202	49	10:25	11:14	11:10	12:15	0:45	0:49	1:05	0	0,0	4,49	56 -11
202	50	10:28	11:16	11:11	12:18	0:42	0:47	1:07	0	0,0	4,75	56 -14
201	51	10:32	11:18	11:19	12:19	0:47	0:46	1:00	0	0,0	4,28	56 -9
201	52	10:35	11:20	11:20	12:20	0:44	0:44	1:00	0	0,0	4,52	56 -12
201	53	10:39	11:23	11:21	12:25	0:42	0:44	1:04	0	0,0	4,79	56 -14
201	54	10:42	11:26	11:25	12:25	0:42	0:43	1:00	0	0,0	4,73	56 -14
201	55	10:46	11:27	11:27		0:41	0:41		0	0,0	4,90	56 -15
201	56	10:49	11:31	11:43		0:53	0:41		0	0,0	3,76	56 -3
198	57	10:53	11:34	11:44		0:51	0:41		0	0,0	3,88	55 -4
198	58	10:56	11:34	11:50		0:53	0:37		0	0,0	3,70	55 -1
184	59	11:00	11:37	11:40		0:40	0:37		0	0,0	4,60	50 -10
184	60	11:03	11:37	11:41		0:38	0:34				4,84	50 -12
180	61	11:06	11:40	11:46	12:26	0:40	0:34	0:40			4,50	49 -9
180	62	11:09	11:44	11:52		0:43	0:35				4,19	49 -6
160	63	11:12	11:47	11:53		0:41	0:35				3,90	43 -2
160	64	11:15	11:50	11:54		0:39	0:35				4,10	43 -4
140	65	11:18	11:54	11:50		0:32	0:36				4,37	39 -7
140	66	11:21	11:57	11:32		0:11	0:36				12,73	39 -28
120	67	11:24	12:03	11:38		0:14	0:39				8,57	32 -18
120	68	11:26	12:07	11:37		0:11	0:41				10,91	32 -21
100	69	11:28	12:07	11:37		0:09	0:39				11,11	27 -18
100	70	11:30	12:10	11:44		0:14	0:40				7,14	27 -13
80	71	11:32	12:13	11:43		0:11	0:41				7,27	21 -10
80	72	11:33	12:16	11:43		0:10	0:43				8,00	21 -11
70	73	11:34	12:19	11:45		0:11	0:45				6,36	19 -8
70	74	11:34	12:21	11:48		0:14	0:47				5,00	19 -5

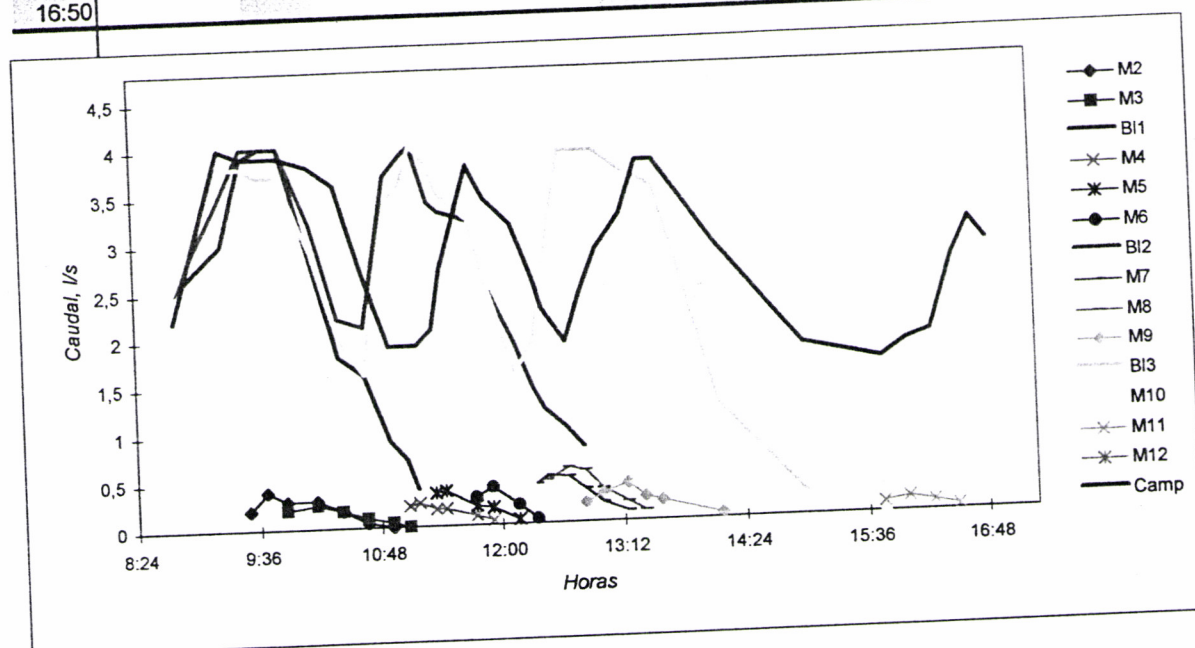
Anexo 6.3.17-cont. Tempos de avanço observados durante a rega 29

Comprimento	Setor	Início		Fim		Duração	Tempo inf.		Volume	Dotação	el. avanço		Avanço	Diferença
		abertura	fechura	abertura	fechura		avanzo	início			fim	aplicado		
182	75	11:35	12:23	12:27	13:15	0:52	0:48	0:48	1548	11,3	3,50	50	2	
182	76	11:38	12:26	12:41	13:20	1:03	0:48	0:39	1548	11,3	2,89	50	13	
181	77	11:41	12:29	12:14	13:20	0:33	0:48	1:06	1548	11,4	5,48	49	-16	
181	78	11:44	12:33	12:23	13:22	0:39	0:49	0:59	1548	11,4	4,64	49	-10	
180,5	79	11:47	12:36	12:27	13:25	0:40	0:49	0:58	1548	11,4	4,51	49	-9	
180,5	80	11:50	12:39	12:36	13:25	0:46	0:49	0:49	1548	11,4	3,92	49	-3	
180	81	11:53	12:42	12:40	13:30	0:47	0:49	0:50	1548	11,5	3,83	49	-2	
180	82	11:56	12:45	12:37	13:56	0:41	0:49	1:19	1548	11,5	4,39	49	-8	
181	83	11:59	12:49	12:38	13:56	0:39	0:50	1:18	1548	11,4	4,64	49	-10	
181	84	12:02	12:52	12:43	13:56	0:41	0:50	1:13	1548	11,4	4,41	49	-8	
181	85	12:05	12:55	12:51	13:56	0:46	0:50	1:05	1548	11,4	3,93	49	-3	
181	86	12:08	12:59	12:53	14:10	0:45	0:51	1:17	1548	11,4	4,02	49	-4	
181	87	12:11	13:02	13:03	14:10	0:52	0:51	1:07	1548	11,4	3,48	49	3	
181	88	12:14	13:05	12:59	14:10	0:45	0:51	1:11	1548	11,4	4,02	49	-4	
182	89	12:17	13:08	13:05	14:15	0:48	0:51	1:10	1548	11,3	3,79	50	-2	
182	90	12:20	13:11	13:08	14:15	0:48	0:51	1:07	1539,6	11,3	3,79	50	-2	
182	91	12:23	13:14	13:08	14:20	0:45	0:51	1:12	1521,6	11,1	4,04	50	-5	
182	92	12:26	13:16	13:16	14:20	0:50	0:50	1:04	1489,8	10,9	3,64	50	0	
182	93	12:29	13:18	13:09	14:25	0:40	0:49	1:16	1486,8	10,9	4,55	50	-10	
182	94	12:32	13:18	13:17	14:25	0:45	0:46	1:08	1536,6	11,3	4,04	50	-5	
182	95	12:35	13:24	13:16	14:25	0:41	0:49	1:09	1552,2	11,4	4,44	50	-9	
182	96	12:38	13:29	13:19	14:25	0:41	0:51	1:06	1570,2	11,5	4,44	50	-9	
182	97	12:41	13:34	13:22	14:25	0:41	0:53	1:03	1585,2	11,6	4,44	50	-9	
182	98	12:44	13:40	13:20	14:30	0:36	0:56	1:10	1606,2	11,8	5,06	50	-14	
182	99	12:47	13:44	13:30	14:20	0:43	0:57	0:50	1629	11,9	4,23	50	-7	
182	100	12:50	13:56	13:25	14:20	0:35	1:06	0:55	1653,6	12,1	5,20	50	-15	
182	101	12:53	14:02	13:25	14:20	0:32	1:09	0:55	1681,2	12,3	5,69	50	-18	
182	102	12:56	14:06	13:30	14:25	0:34	1:10	0:55	1708,8	12,5	5,35	50	-16	
160	103	12:59	14:06	13:32	14:25	0:33	1:07	0:53	1735,8	14,5	4,85	43	-10	
160	104	13:02	14:10	13:32	14:25	0:30	1:08	0:53	1767	14,7	5,33	43	-13	
150	105	13:05	14:14	13:33	14:20	0:28	1:09	0:47	1798,8	16,0	5,36	40	-12	
150	106	13:08	14:18	13:35	14:20	0:27	1:10	0:45	1831,8	16,3	5,56	40	-13	
130	107	13:11	14:22	13:32	14:15	0:21	1:11	0:43	1865,4	19,1	6,19	36	-15	
130	108	13:14	14:26	13:37	14:15	0:23	1:12	0:38	1900,8	19,5	5,65	36	-13	
70	109	13:16	14:26	13:31		0:15	1:10		1977,6	37,7	4,67	19	-4	
70	110	13:18	14:31	13:31		0:13	1:13		2058	39,2	5,38	19	-6	
285	111	13:18	14:35	14:55	16:15	1:37	1:17	1:20	2217,6	10,4	2,94	78	19	
284	112	13:24	14:39	15:06		1:42	1:15		2141,4	10,1	2,78	78	24	
283	113	13:29	14:40	15:10		1:41	1:11		2103	9,9	2,80	78	23	
282	114	13:34	14:40	15:23	16:20	1:49	1:06	0:57	2064	9,8	2,59	77	32	
281	115	13:38	14:44	15:18		1:40	1:06		2064	9,8	2,81	77	23	
280	116	13:42	14:50	15:28	16:15	1:46	1:08	0:47	2064	9,8	2,64	77	29	
278	117	13:46	14:57	15:20		1:34	1:11		2064	9,9	2,96	79	15	
276	118	13:50	15:04	15:27	16:40	1:37	1:14	1:13	2055,6	9,9	2,85	78	19	
275	119	13:54	15:08	15:42	16:25	1:48	1:14	0:43	2037,6	9,9	2,55	78	30	
274	120	13:58	15:10	15:27	16:15	1:29	1:12	0:48	2022,6	9,8	3,08	78	11	
273	121	14:02	15:12	15:42	16:40	1:40	1:10	0:58	1996,8	9,8	2,73	77	23	
272	122	14:06	15:14	15:40	16:40	1:34	1:08	1:00	1959	9,6	2,89	77	17	
271	123	14:10	15:18	15:35	16:35	1:25	1:08	1:00	1922,4	9,5	3,19	76	9	
270	124	14:14	15:23	15:56	16:40	1:42	1:09	0:44	1881,6	9,3	2,65	76	26	
269	125	14:18	15:23	16:02	16:50	1:44	1:05	0:48	1836,6	9,1	2,59	76	28	
268	126	14:22	15:23	15:50	16:40	1:28	1:01	0:50	1788	8,9	3,05	75	13	
266	127	14:26	15:26	15:52	16:40	1:26	1:00	0:48	1736,4	8,7	3,09	75	11	
265	128	14:30	15:26	16:10	16:55	1:40	0:56	0:45	1681,8	8,5	2,65	74	26	
264	129	14:34	15:27	16:10	16:51	1:36	0:53	0:41	1632	8,2	2,75	74	22	
263	130	14:38	15:32	16:11		1:33	0:54				2,83	74	19	
262	131	14:42	15:36	16:14		1:32	0:54				2,85	73	19	
256	132	14:46	15:42	16:13		1:27	0:56				2,94	71	16	
256	133	14:50	15:45	16:16		1:26	0:55				2,98	71	15	
145	134	14:54	15:47	15:35		0:41	0:53				3,54	39	2	
144	135	14:58	15:55	15:30		0:32	0:57				4,50	38	-6	
143	136	15:02	16:00	15:38		0:36	0:58				3,97	38	-2	
135	137	15:05	16:06	15:42		0:37	1:01				3,65	37	0	
132	138	15:08	16:06	15:35		0:27	0:58				4,89	36	-9	
125	139	15:11	16:07	15:52		0:41	0:56				3,05	34	7	
123	140	15:13	16:10	15:48		0:35	0:57				3,51	33	2	
115	141	15:15	16:16	15:42		0:27	1:01				4,26	31	-4	
110	142	15:17	16:20	15:42		0:25	1:03				4,40	30	-5	
105	143	15:19	16:24	15:43		0:24	1:05				4,37	28	-4	
100	144	15:21	16:24	15:45		0:24	1:03				4,17	27	-3	
95	145	15:23	16:27	15:43		0:20	1:04				4,75	25	-5	
90	146	15:25	16:29	15:53		0:28	1:04				3,21	24	4	
50	147	15:27	16:40	15:41		0:14	1:13				3,57	14	0	
50	148	15:30	16:40	15:40		0:10	1:10				5,00	14	-4	

Anexo 6.3.18 Caudais excedentes observados durante a rega 29

Excedentes em l.s⁻¹

	18	24	43	51	61	69	76	80	88	116							
	M2	M3	Bloco 1	M4	M5	M6	M6a	Bloco 2	M7	M8	M9	Bloco 3	M10	M11	M12	Camp	Camp
Hora	M2	M3	BI1	M4	M5	M6	M6a	BI2	M7	M8	M9	BI3	M10	M11	M12	Camp	Camp
8:48			2,5				2,5				2,5				2,2	0,4	
9:17			3				3,5				3,8				4	1,8	
9:30	0,2		3,9				4				3,7				3,9	3	
9:40	0,4		4				4				3,7				3,9	2,9	
9:52	0,3	0,2	4				4				2,9				3,8	2	
10:10	0,3	0,25	2,8				3,2				2				3,6	1,4	
10:25	0,18	0,18	1,8				2,2				1,6				2,7	1,4	
10:40	0,05	0,1	1,6				2,1				3,4				1,89	1,6	
10:55	0	0,05	0,9				3,7				3,6				1,89	2,5	
11:05		0	0,7	0,22			3,9				3,6				1,89	3,2	
11:11			0,4	0,25			4				4				2,07	3,2	
11:21				0,18	0,35		3,4				3,8				2,7	3,1	
11:27				0,18	0,37		3,3				3,5				3,78	2,8	
11:45				0,1	0,2	0,3	3,2				3,2				3,42	1,6	
11:55				0,05	0,18	0,4	2,5				2,5				3,15	1,5	
12:10					0,05	0,2	1,9				1,6				2,61	2,8	
12:21						0,05	1,4	0,42			1,9				2,25	3,1	
12:27							1,2	0,5	0,45		2,6				1,89	3,1	
12:40							1	0,49	0,58		3,9				2,43	3,0	
12:50							0,8	0,35	0,55	0,2	3,9				2,88	2,9	
13:00								0,2	0,35	0,3	3,9				3,24	2,6	
13:15								0,1	0,2	0,4	3,7				3,78	2,2	
13:25									0,1	0,25	3,6				3,78	2,1	
13:35										0,2	3,5				2,88	1,7	
14:10										0,05	1,2				1,8	1,2	
15:00											0,25	0,1	0,05	0,1	1,62	2,3	
15:45														0,15	1,8	2,2	
16:00														0,1	1,89	2,1	
16:15														0,05	2,7	2,0	
16:30															3,06	1,7	
16:40															2,84	1,6	
16:50																	



Anexo 6.4 Caudais admitidos durante regas 9 e 11 de 1998

Rega 9

	Cal.	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	Desvio pad
Caudal 1	0,82	0,75	0,79	0,82	0,78	0,79	0,82	0,8	0,85	0,87	0,9	0,88	0,86	0,83	0,95	0,88	0,05
Caudal 2	0,79	0,72	0,75	0,78	0,73	0,75	0,79	0,75	0,83	0,85	0,87	0,85	0,78	0,78	0,9	0,79	0,05
Caudal 3	0,76	0,68	0,73	0,77	0,69	0,74	0,73	0,71	0,79	0,81	0,84	0,82	0,75	0,73	0,85	0,75	0,05
Caudal 4	0,73	0,65	0,71	0,74	0,66	0,72	0,7	0,67	0,72	0,79	0,78	0,76	0,68	0,69	0,78	0,73	0,04
Caudal 5	0,7	0,61	0,7	0,71	0,62	0,67	0,64	0,63	0,69	0,74	0,76	0,72	0,65	0,65	0,73	0,68	0,05
Caudal 6	0,66	0,58	0,67	0,65	0,6	0,66	0,61	0,59	0,66	0,72	0,71	0,68	0,63	0,6	0,67	0,6	0,04
Caudal 7	0,61	0,57	0,65	0,59	0,56	0,6	0,58	0,55	0,63	0,68	0,68	0,59	0,58	0,55	0,63	0,58	0,04
Caudal 8	0,57	0,55	0,59	0,54	0,52	0,56	0,53	0,51	0,59	0,63	0,63	0,55	0,53	0,49	0,6	0,54	0,04
Caudal 9	0,53	0,53	0,55	0,49	0,49	0,49	0,49	0,44	0,54	0,57	0,55	0,5	0,49	0,44	0,56	0,48	0,04
Caudal 10	0,48	0,45	0,49	0,45	0,44	0,44	0,45	0,41	0,5	0,5	0,46	0,46	0,4	0,39	0,5	0,44	0,04
Caudal 11	0,43	0,37	0,43	0,39	0,39	0,4	0,4	0,37	0,46	0,43	0,38	0,38	0,36	0,33	0,47	0,41	0,04
Caudal 12	0,37	0,33	0,38	0,33	0,29	0,34	0,33	0,3	0,38	0,35	0,29	0,32	0,3	0,26	0,39	0,37	0,04
Caudal 13	0,21	0,24	0,32	0,26	0,15	0,29	0,27	0,19	0,3	0,27	0,19	0,26	0,19	0,13	0,35	0,31	0,06
Caudal 14			0,24	0,16		0,23	0,21										
Caudal 15							0,16										
Soma		7,02	8	7,68	6,93	7,7	7,7	6,91	7,95	8,21	8,04	7,75	7,2	6,88	8,9	8,05	0,05

Rega 11

	Cal.	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	Desvio pad
Caudal 1	0,8	0,79	0,79	0,86	0,79	0,8	0,8	0,82	0,87	0,89	0,92	0,87	0,89	0,86	0,92	0,78	0,05
Caudal 2	0,77	0,76	0,77	0,82	0,76	0,77	0,78	0,8	0,85	0,87	0,89	0,86	0,88	0,82	0,89	0,73	0,05
Caudal 3	0,74	0,73	0,74	0,8	0,72	0,74	0,76	0,75	0,82	0,84	0,84	0,81	0,83	0,74	0,85	0,7	0,05
Caudal 4	0,71	0,71	0,72	0,77	0,69	0,71	0,71	0,72	0,78	0,81	0,8	0,78	0,72	0,69	0,79	0,68	0,05
Caudal 5	0,69	0,66	0,7	0,75	0,66	0,68	0,65	0,68	0,75	0,79	0,79	0,74	0,69	0,67	0,76	0,62	0,05
Caudal 6	0,66	0,63	0,68	0,72	0,62	0,65	0,63	0,63	0,71	0,73	0,77	0,69	0,65	0,63	0,71	0,6	0,05
Caudal 7	0,62	0,62	0,66	0,7	0,59	0,62	0,6	0,6	0,67	0,68	0,72	0,62	0,58	0,59	0,66	0,53	0,05
Caudal 8	0,58	0,59	0,65	0,67	0,55	0,58	0,56	0,57	0,64	0,65	0,68	0,55	0,55	0,54	0,6	0,5	0,05
Caudal 9	0,54	0,57	0,6	0,63	0,53	0,54	0,52	0,53	0,6	0,58	0,63	0,5	0,49	0,5	0,58	0,44	0,05
Caudal 10	0,5	0,55	0,59	0,57	0,49	0,5	0,47	0,48	0,54	0,55	0,5	0,43	0,42	0,44	0,49	0,4	0,06
Caudal 11	0,46	0,5	0,53	0,53	0,45	0,46	0,45	0,43	0,51	0,5	0,39	0,38	0,37	0,39	0,46	0,36	0,06
Caudal 12	0,41	0,45	0,49	0,47	0,4	0,42	0,39	0,37	0,43	0,41	0,32	0,3	0,3	0,35	0,38	0,29	0,06
Caudal 13	0,35	0,4	0,44	0,41	0,34	0,39	0,36	0,31	0,38	0,32	0,26	0,26	0,26	0,26	0,31	0,24	0,06
Caudal 14	0,29	0,33	0,39	0,35	0,27	0,32	0,32	0,18	0,29								
Caudal 15		0,27	0,34	0,28	0,16	0,26	0,28										
Soma		8,56	9,1	9,32	8,04	8,45	8,26	7,86	8,85	8,87	8,51	7,79	7,64	7,48	8,61	7,05	0,05

Anexo 6.5.1 Tempos de avanço em sulcos medição em 1997

Rega 2

	Contr	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
	5	7	9	12	22	25	32	42	45	49
0	9:59	####	####	####	####	####	####	####	4:30	5:03
20	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2
40	5	5	4	4	5	5	5	4	4	4
60	8	7	6	7	7	9	8	6	7	6
80	11	10	11	10	11	13	11	9	10	
100	14	15	14	14	15	17	####	12	13	
120	17	20	19	18	20	22	18	16		
140	24	25	24	23	24	27		19		18
160	30	29	27	27	28	32	25	22		21
180	34	33	32	32	32	37	28	27		
200	39	42	43	38	39	42				
220	42	44	49			48				
240	48									

Rega 3

	Contr	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
	5	7	9	12	22	25	32	42	45	49
0	####		####	####	1:17	####	2:27	####	3:46	4:19
20	0,44		1	3	2	4	2	2	2	
40	0,44		3	4	5	6	4	4	4	
60	0,44		6	8	10	11	8	7	7	7
80	0,45		11	12		15		10	10	
100	0,45		17	18		20	16	14	14	
120	0,45		22	24	25	26		18	17	
140	0,46		27			32	23	21		
160	0,46		32		36	38		26		
180	0,47		39	38		43		32		
200	0,47		46			49				
220	0,47		56	54		53				
240	0,48		66							

Rega 4

	Contr	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
	5	7	9	12	22	25	32	42	45	49
0	####	####	####	1:20	2:17	2:39	3:28	4:42	5:01	5:25
20	2	2	2	2	3	2	1	2	2	
40	6	6	6	5	5	6	6	4	5	5
60	10	9	9	8	9	12	10	6	7	9
80	15	14	16	11	12	18	14	11		
100	19	21	20	16	20	25	19	15	15	16
120	24	28	26	24	30	34	24	20		
140	32	34	36	31	36	44	35	25		
160	40	41	40	37	43	57		29	27	
180	45	48	45		50	72				
200	51	57	54		57					
220	57	65								
240	66									

Rega 7

	Contr	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
	5	7	9	12	22	25	32	42	45	49
0	####	####	1:16	1:46	2:53				6:08	
20	4	3	4	4	3				2	
40	9	9	9	9	8				5	
60	14	14	14	13	13				8	
80	20	21	26	25	21				13	
100	29	35	35	35	30				17	
120	37	46		40	37				20	
140	53	54	55	47	45				25	
160	66	72	68	56	52					
180	72	79	78	64	62					
200	84	87	93	78	71					
220	93	113	98							
240	105									

Rega 9

	Contr	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
	5	7	9	12	22	25	32	42	45	49
0	####	####	1:15	1:42	2:48	3:28			5:59	
20	4	3	3	3	4	3			2	
40	8	8	7	7	8	7			6	
60	13	13	13	12		14			11	
80	18	23	22	17	20	21			16	
100	25	32	27	25	26	28			20	
120	32	41		35	34	37			25	
140	46		48	45	40	44			28	
160	52	50	50	50	46	51			34	
180	58	68	89	58	54	60				
200	63	70			63					
220	69	86								
240	79									

Rega12

	Contr	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
	5	7	9	12	22	25	32	42	45	49
0	8:56	####	####	####		####	####	####		
20	3	3	6	4						
40	7	7	8	7						
60	12	12	15	15					8	
80	18	27	24	20						
100	23	29	32	26						
120	29	30	42	38					29	
140	39	43	50	45					37	
160	45	54	59	54						
180	56	63	69	62						
200	61	72	81	74						
220	71	86		86						
240		111								

Anexo 6.5.2 Tempos de avanço em sulcos medição em 1998

Rega 1

	Contr	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
20	2	1	1	1	1	1		2					2			
40	6	6	5	2	3	5		5					8			
60	11	11	10	5	7	9		9					13			
80	16	16	14	10	11	12		13					21			
100	20	21	18	15	16	17		19					26			
120	24	26	23	21	20	21		22					33			
140	29	30	28	27	24	25		25					41			
160	33	35	33	34	28	29		37					47			
180	38	39	37	40	32	34		42					57			
200	42	42	42	46	36	40		47					67			
220	47	46	47	56	40	47							83			
240	53	53	56	67	46	48							109			

Rega 3

	Contr	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
20		6	6	5	2	6	3	4	5	4	5	7	5			
40		12	12	9	6	10	7	8	10	8	8	11	10			
60		18	19	15	10	15	11	14	14	12	14	17	16			
80		24	22	21	16	20	16	20	22	18	21	23	21			
100		31	26	26	21	26	21	28	29	24	27	29	27			
120		37	35	32	25	32	27	34	35	30	35	37	32			
140		44	42	40	30	38	33	40	41	37	41	43	38			
160		51	50	46	34	45	40	45			47	52	44			
180		57	59	52	41	53	46	50			54	61	51			
200		64	67	61	47	61	54				67	76	60			
220		73	77	68	51	64	55				77	94	70			
240											89	112	84			
260											106	130	89			
280											113	139	95			

Rega 5

	Contr	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
20	4	4	5	4				3	4	5	5	3	4	4	3	3
40	10	9	10	8				7	7	8	8	7	8	7	6	7
60	14	13	14	12				11	11	12	13	11	13	11	11	11
80	18	18	18	17				16	17	16	19	17	18	14	14	15
100	23	23	22	22				24	21	21	24	21	23	17	18	19
120	28	28	30	27				29	28	26	30	24	28	21	23	23
140	32	34	34	32				33	32	31	36	40	34	27	29	
160	40	39	39	37				38	37	37	41	48	39	33	37	
180	46	44	44	43				43	42	43	48	54	44	38	45	
200	51	49	50	49							56	68	51	43	55	
220		55	61	56							63	78	59	48	63	
240	57	55	61	56							71	83	70	55	71	
260											80	89	79			
280																

Rega 9

	Contr	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
	5	7	9	12	22	25	32	42	45	49						
20	7	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3		2	2	3	
40	5	5	5	6	6	4	6	5	5	5	5		4	5	6	
60	8	9	8	9	9	6	8	9	7	8	8		7	10	9	
80	11	11	11	12	14	9	14	19	11	11	12		11	15	12	
100	14	14	15	15	18	12	15	23	16	18	16		15	18	16	
120	17	18	18	18	22	16	18	27	21	22	20		18	21	20	
140	20	21	23	21	25	19	22	30	25	25	24		22	26	24	
160	25	25	26	24	29	23	26	34	29		27		25	32	28	
180	29	29	29	27	34	27	29				32	30	28	39	33	
200	32	33	34	31	39	30					37	35	32	46	38	
220		37			40	47					41	39	37	52	41	
240					46	48					45	44	46			

Anexo 6.5.3 Tempos de avanço em sulcos medição em 1999

Rega 1

[illegible]

Rega 2

[illegible]

Anexo 6.6 Variação do perfil ao longo do sulco M5, 1998

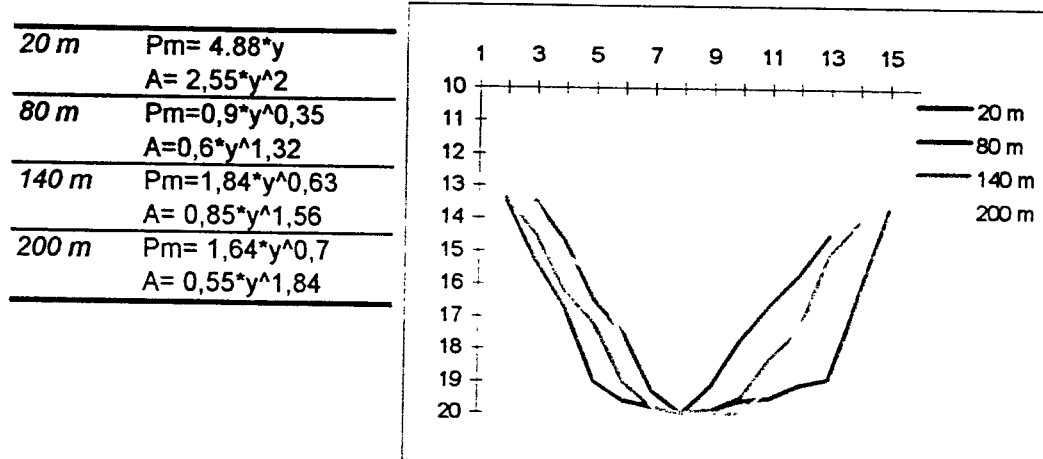


Figura A 6.6 Variação dos perfis do sulco M5, 1998

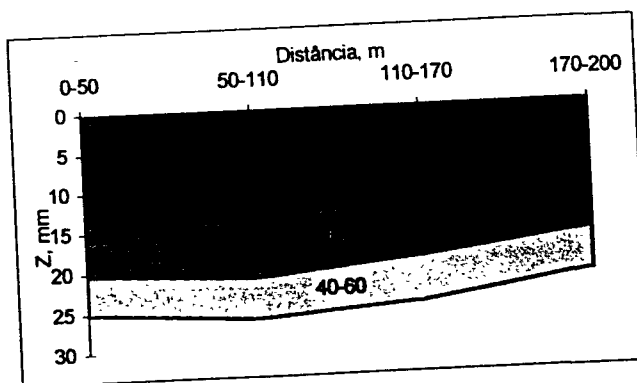
Anexo 6.7.1 Resumo da infiltração no sulco M5. campanha de 1998

Volume infiltrado por metro do sulco, l

Rega 1

	0-50	50-110	110-170	170-200
0-20	14	14	11	10
20-40	6	7	8	6
40-60	5	5	6	5
Total	25	26	25	21

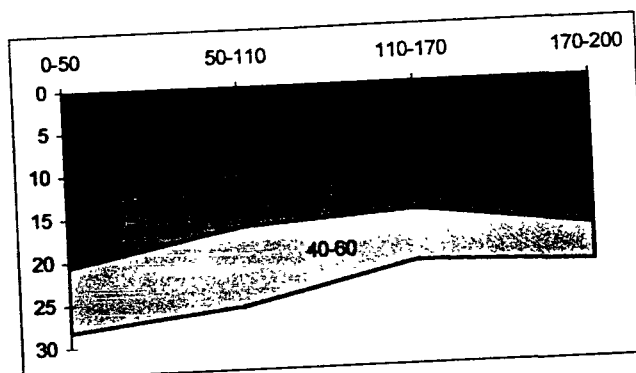
Vol.admitido	5215
Vol. infiltrado	4957
Ea	95 %
UD	0,88
Cu	0,94
CV	0,08



Rega 5

	0-50	50-110	110-170	170-200
0-20	14	10	9	10
20-40	7	7	6	8
40-60	8	9	6	4
Total	28	26	21	22

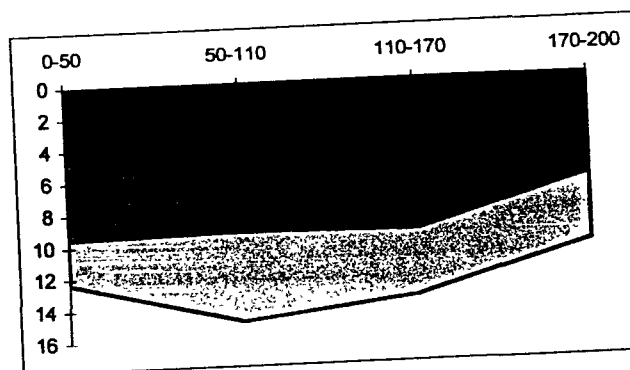
Vol.admitido	6937
Vol. infiltrado	4886
Ea	70 %
UD	0,87
Cu	0,89
CV	0,14



Rega 9

	0-50	50-110	110-170	170-200
0-20	5	4	5	4
20-40	5	5	5	3
40-60	3	6	4	4
Total	12	15	14	11

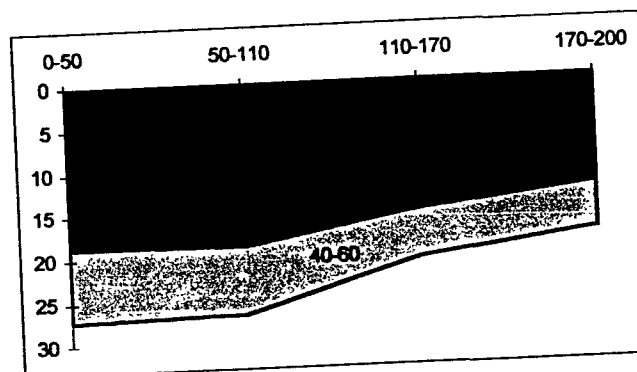
Vol.admitido	2916
Vol. infiltrado	2651
Ea	91 %
UD	0,82
Cu	0,89
CV	0,15



Rega 11

	0-50	50-110	110-170	170-200
0-20	11	10	8	9
20-40	8	9	7	4
40-60	9	8	6	5
Total	27	27	21	18

Vol.admitido	6937
Vol. infiltrado	4747
Ea	68 %
UD	0,78
Cu	0,83
CV	0,20



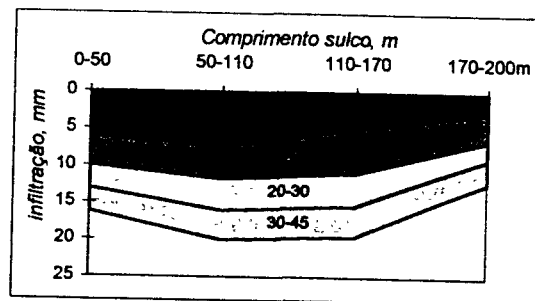
Anexo 6.7.2 Resumo da infiltração no sulco 5. campanha de 1999

Volume infiltrado por metro de sulco, l

Rega 2

	0-50	50-110	110-170	170-200m
0-10	6	7	5	3
10-20	4	5	6	4
20-30	3	4	5	2
30-45	3	4	4	3
Total	16	20	20	12

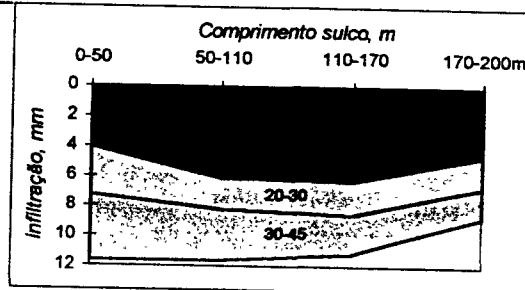
Vol. admitido	2736	EA	0,78
Vol. excedente		UD	0,72
Vol. infiltrado	2134,4	Cu	0,84
		CV	0,21



Rega 3

	0-50	50-110	110-170	170-200m
0-10	1	3	3	1
10-20	3	3	3	3
20-30	3	2	2	2
30-45	4	3	3	2
Total	12	12	11	9

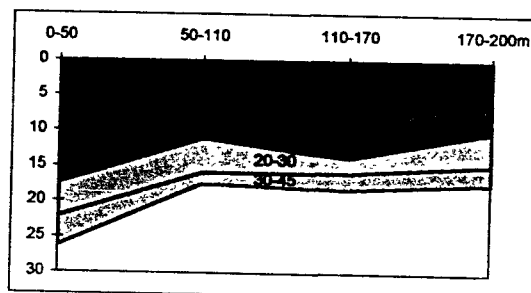
Vol. admitido	2483	EA	0,89 %
Vol. excedente		UD	0,81
Vol. infiltrado	2214,5	Cu	0,90
		CV	0,13



Rega 9

	0-50	50-110	110-170	170-200m
0-10	9	7	9	5
10-20	8	4	5	5
20-30	5	5	2	5
30-45	4	2	2	3
Total	26	18	18	17

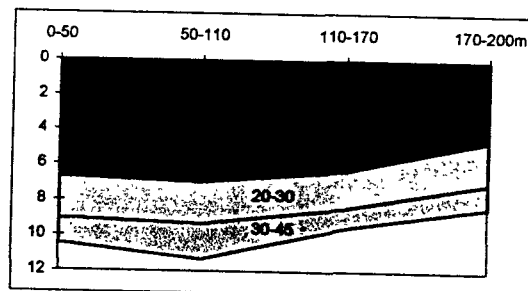
Vol. admitido	3452	EA	0,88 %
Vol. excedente	426	UD	0,87
Vol. infiltrado	3026	Cu	0,84
		CV	0,22



Rega 17

	0-50	50-110	110-170	170-200m
0-10	4	4	4	3
10-20	3	3	2	2
20-30	2	2	2	2
30-45	1	2	1	1
Total	10	11	10	8

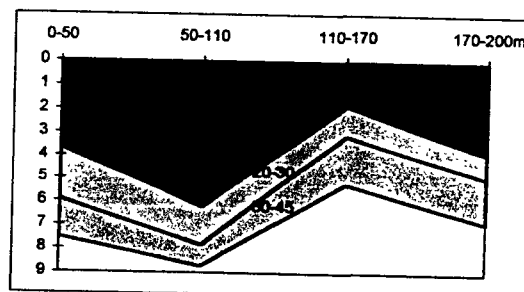
Vol. admitido	3065	EA	78 %
Vol. excedente	660	UD	0,84
Vol. infiltrado	2405	Cu	0,90
		CV	0,13



Rega 21

	0-50	50-110	110-170	170-200m
0-10	2	4	1	3
10-20	2	3	1	1
20-30	2	2	1	1
30-45	2	1	2	2
Total	8	9	5	7

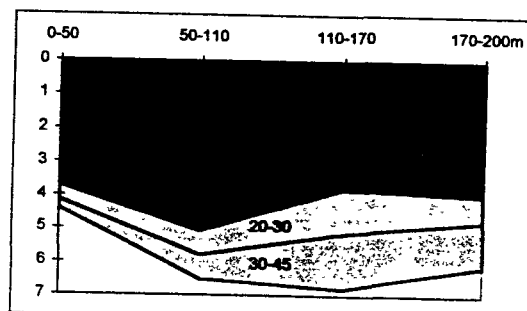
Vol. admitido	1825	EA	65 %
Vol. excedente	639	UD	0,74
Vol. infiltrado	1186	Cu	0,85
		CV	0,20



Rega 22

	0-50	50-110	110-170	170-200m
0-10	3	3	3	2
10-20	1	2	1	2
20-30	0	1	1	1
30-45	0	1	2	1
Total	4	7	7	6

Vol. admitido	1677	EA	71 %
Vol. excedente	480	UD	0,74
Vol. infiltrado	1197	Cu	0,87
		CV	0,18



Anexo 6.8 Efeito da distância entre os orifícios sobre os caudais debitados em 1998 e 1999

Em 1999 a distância entre os orifícios foi alterada de 1,5m para 0,75m., mantendo-se o caudal total e a abertura das janelas. Verifica-se que a diminuição da pressão no tubo (distância de 0,75m entre os orifícios) leva a uma redução da gama e aproximação entre os vários caudais debitados (Figura A6.2), para além do aumento do número de orifícios debitando em simultâneo de 16 para 20.

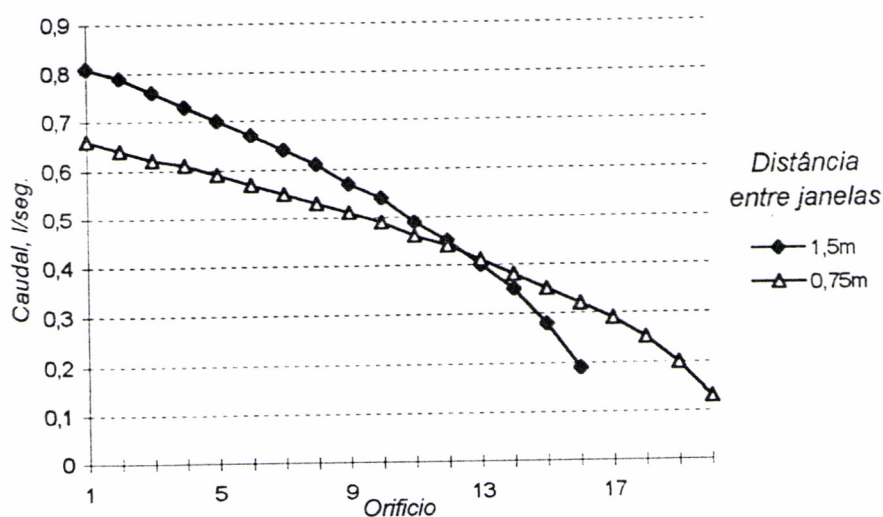


Figura A6.8 Efeito da redução da distância entre as janelas, sobre os caudais e o número de orifícios debitando em simultâneo.

Anexo 6.9 Teor de água nas várias camadas do solo, 1999 em percentagem de volume.

Data	24-6	28-6	2-7	5-7	7-7	9-7	12-7	14-7	21-7	22-7	23-7	28-7	30-7	2-8	3-8	6-8	11-8	13-8	16-8	18-8	20-8
Rega nº	1	2	3	4	5	6	7	8	11	12	13	16	17	18	19	21	22	23	24	25	27
Camada, cm																					
10	14,1	12,9	13,8	13,2	14,6	16,6	14,5	15,3	11,4	11,8	12,5	14,3	14,2	15,3	15,8	16,9	13,5	14,2	13,0	13,4	13,9
20	19,1	18,9	19,2	19,1	19,9	22,2	20,6	20,8	13,0	13,3	13,6	16,4	17,4	18,6	19,8	20,5	17,3	18,0	17,4	17,7	18,0
30	24,6	21,4	23,5	23,2	24,1	25,5	24,9	25,2	15,6	15,7	16,4	20,6	21,7	22,7	23,6	24,3	21,1	22,0	21,7	22,0	23,3
40	27,4	26,4	26,8	25,9	26,6	28,0	27,4	28,0	28,7	29,0	29,8	26,1	26,3	26,6	27,6	28,1	25,1	26,9	25,3	25,6	26,5
50	29,9	28,7	28,8	28,7	28,8	30,7	30,0	30,4	31,9	32,2	32,9	31,6	31,3	31,4	31,8	32,2	28,7	29,6	30,1	30,1	30,2
60	30,4	29,6	29,2	29,4	29,5	31,3	30,8	31,2	29,8	29,8	30,3	32,4	33,1	34,3	34,8	35,1	30,2	30,4	31,2	31,4	31,5
70	28,4	28,4	28,6	29,4	29,3	31,2	31,1	31,1	29,5	29,6	30,0	31,8	32,5	32,9	33,3	33,4	29,5	29,2	30,2	30,2	30,9
média 0-5	23	21,6	22,4	22	22,8	24,6	23,5	23,9	20,1	20,4	21	21,8	22,2	22,9	23,7	24,4	21,1	22,1	21,5	21,8	22,4
média 0-4	21,3	19,9	20,8	20,3	21,3	23,1	21,8	22,3	17,2	17,4	18	19,3	19,9	20,8	21,7	22,5	19,2	20,3	19,4	19,7	20,4

Anexo 6.10 Tempos de avanço observados em função do caudal e do estado de humidade do solo

Tempos de avanço observados com o solo seco, em min.

Sulco	20	21	22	23	24	25	26	27	28	19
Caud.	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,6	0,7	0,9	1	1,1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	25	12	10	8	7	6	5	4	3	4
40	48	28	23	16	12	11	9	7	6	8
60	72	41	32	25	17	16	14	11	10	13
80	119	57	46	34	22	24	21	16	14	19
100	157	84	58	44	30	31	27	20	18	25
120	177	105	75	54	36	38	34	24	23	31
140	227	122	100	65	44	47	41	29	27	37
160		139	116	74	51	57	53	35	33	44
180		175	137	86	60	67	61	41	37	50
200		216	161	99	68	75	69	46	44	59

Tempos avanço obs. com teores de humidade intermédios, em in.

Sulco	20	21	22	23	24	25	26	27	28	19
Caud.	0,2	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1	1,2	1,2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	10	7	6	5	5	5	3	3	3	2
40	18	16	13	11	7	8	6	6	5	6
60	27	23	18	15	11	11	9	8	8	10
80	41	37	24	21	15	16	14	12	11	14
100	62	49	36	28	20	21	19	16	14	19
120	74	62	45	35	25	25	22	20	17	24
140	87	73	55	40	30	30	32	23	21	26
160	103	86	66	46	36	34	42	26	24	32
180	122	102	79	52	42	38	42	29	27	37
200	138	116	89	60	47	43	41	33	32	43

Tempos de avanço observados com o solo saturado, em min.

Sulco	20	21	22	23	24	25	26	27	28	19
Caud.	0,11	0,21	0,32	0,43	0,57	0,63	0,7	0,89	1,03	1,16
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	10	7	4	4	4	2	2	2	2	3
40	20	14	9	8	6	7	5	4	4	6
60	29	20	14	12	9	9	8	6	5	9
80	49	31	23	16	12	13	12	9	8	13
100	69	40	28	22	16	17	16	12	11	17
120	86	51	35	27	17	21	20	15	13	21
140		60	43	31	23	26	25	17	16	24
160		70	51	35	27	30	28	20	19	28
180		84	60	42	32	34	31	23	21	32
200		103	67	45	36	37	35	25	25	35

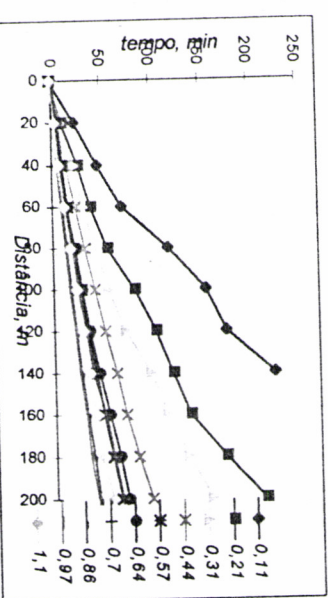


Fig. A6.4.1 Curvas de avanço observados

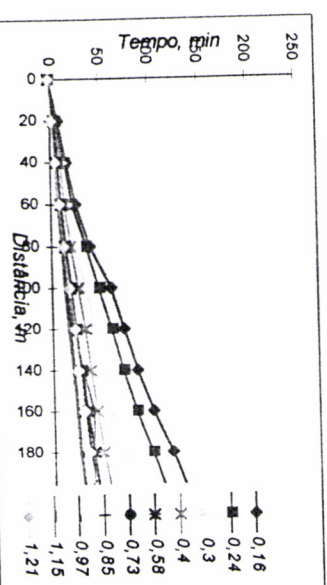


Fig. A6.4.2 Curvas de avanço observados

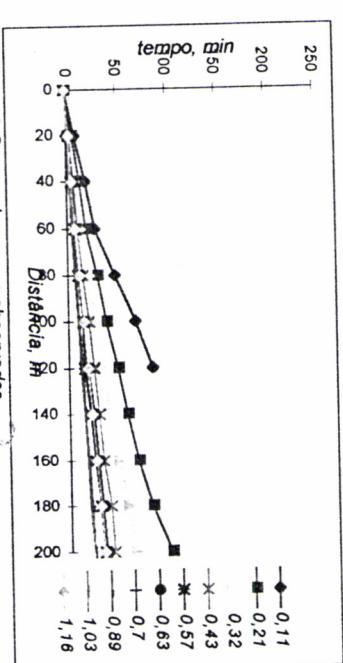


Fig. A6.4.3 Curvas de avanço observados

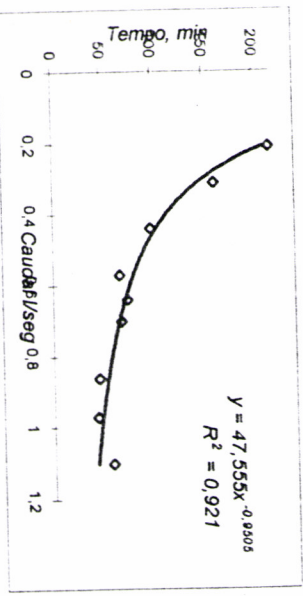


Fig. A6.4.4 Correlação entre os tempos de avanço até ao fim do sulco e o caudal

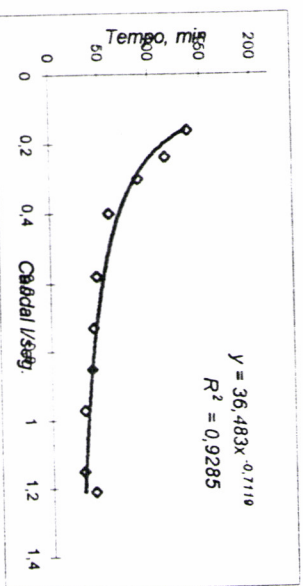


Fig. A6.4.5 Correlação entre os tempos de avanço até ao fim do sulco e o caudal

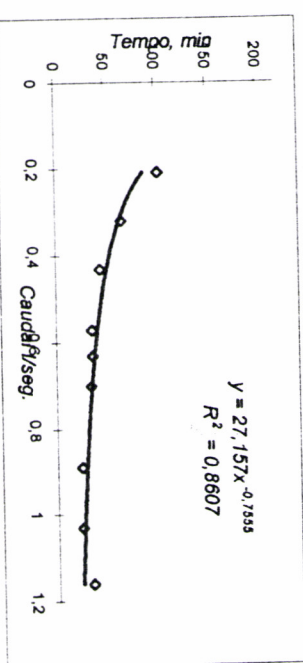


Fig. A6.4.6 Correlação entre os tempos de avanço até ao fim do sulco e o caudal

Anexo 6.10.2 As equações de infiltração determinadas para diferentes estados de humidade e módulos parcelares.

<i>Caudal nominal</i>	<i>Solo seco</i>		<i>Teores intermédios</i>		<i>Solo Saturado</i>	
	<i>k</i>	<i>a</i>	<i>k</i>	<i>a</i>	<i>k</i>	<i>a</i>
0.16			1.51	0,282		
0.21	2,53	0,324	1,65	0,287	0,94	0,364
0.32	2,61	0,327	1,72	0,299	0,93	0,403
0.4	2,93	0,310				
0.55	3,09	0,297	1,88	0,292	0,85	0,396
0.65	2,90	0,306	1,71	0,299	0,62	0,470
0.7	3,22	0,286	1,83	0,288	0,60	0,450
0.9	2,85	0,305	2,20	0,245		
1,02	3,29	0,260	1,79	0,244	0,46	0,354
1.1	3,15	0,256	1,85	0,232	0,23	0,378

Anexo 6.11 Caudais excedentes com diferentes módulos parcelares.

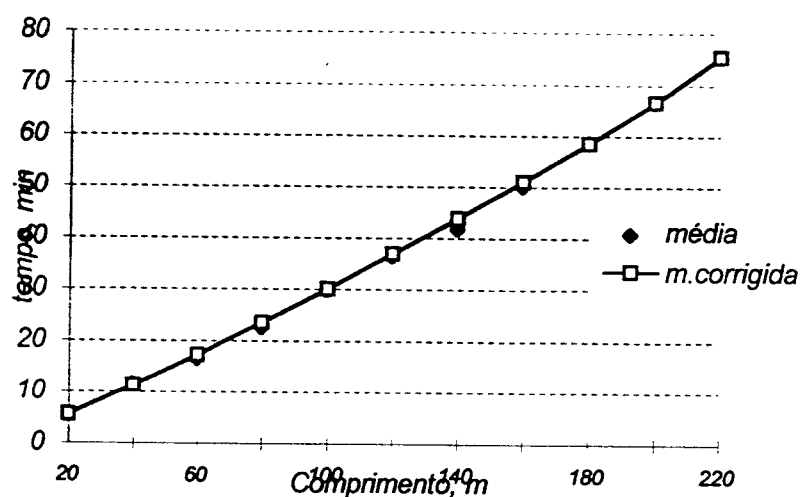
tempo	21			22			23			24			25			26			19			27			28		
	caudal	seco	inter	seco	inter	sat	seco	inter	sat	seco	inter	sat	seco	inter	sat	seco	inter	sat	seco	inter	sat	seco	inter	sat	seco	inter	sat
0																											
25																											
32																											
39																											
43																											
46																											
51																											
54																											
57																											
62																											
66																											
68																											
71																											
76																											
81																											
85																											
88																											
96																											
100																											
106																											
111																											
116																											
121																											
126																											
130																											
136																											
145																											
150																											
166																											
184																											
190																											
201																											
210																											
220																											
236																											
246																											

Nota: tempo em minutos, caudal em litros por segundo. Os módulos parcelares variam um pouco de rega para rega

Anexo 6.12 Curva de avanço sintético e os parametros utilizados para a determinação das equações de infiltração.

Tempos de avanço ao longo do sulco

Dist.	Rega1	Rega2	Rega3	Rega4	média	m.corrigida
0	0	0	0	0	0	0
20	5	6	6	5	5,50	5,50
40	11	12	12	11	11,50	11,25
60	16	18	17	15	16,50	17,25
80	23	24	22	21	22,50	23,50
100	30	33	28	28	29,75	30,00
120	37	40	34	34	36,25	36,75
140	43	46	39	39	41,75	43,75
160	51	57	45	47	50,00	51,00
180	60	66	52	56	58,50	58,50
200	69	76	59	63	66,75	66,50
220	78	87	67	70	75,50	75,50



Valores considerados para a determinação das equações de infiltração

- 1 Declive do tubo, 0.022 m/m
- 2 Rugosidade do tubo, 150
- 3 Caudal total, 510 litros/min
- 4 Diâmetro interno do tubo, 194 mm
- 5 Declive dos Sulcos, 0.002 m/m
- 6 Diâmetro Equivalente das janelas, 23 mm
- 7 Factor de forma de armazenagem superficial, 0.70
- 8 N de Manning inicial, 0.040
- 9 Distância entre orifícios, 750 mm
- 10 Simulação não considera o Pm na modelação

Geometria do Sulco:

$$b(m) = 1.25 \times y^{0.73}$$

$$A(m^2) = 0.72 \times y^{1.73}$$

$$Pm(m) = 2.07 \times y^{0.83}$$

$$A(m^2) = 0.157 \times Pm^{2.089}$$

Anexo 6.13.1 Levantamento dos perfis com o perfilômetro de barras em 1998

Sulco M2

	Antes rega1				Depois Rega1				Depois da rega 2				Depois da rega3				Depois da rega5			
	20m	80m	140m	200m	20m	80m	140m	200m	20m	80m	140m	200m	20	80	140	200	20m	80m	140m	200m
1																				
2				6,8	6,5			6,8												
3		5,1		6,9	8,5	5,5	0	8,3												
4	7,2	7,2	6,5	9,3	10	7,1	6,8	9,9						10,90						
5	8,3	9,4	8,5	10,7	10,9	9,8	8,8	10,6	11,1	9,5	8,3	10,8	12,40							
6	11,5	11,1	11,2	12,5	11	11,6	10,7	12,7	12,1	11,3	10,5	12	13,70			12,10				
7	14,4	13,2	13,2	14,4	15	13,7	13,4	15,3	14,9	13,1	11,8	13	14,00			14,60	14,1			
8	16,3	14,6	15,1	17,2	17,1	14,8	15,5	16,9	16,1	15,5	13,2	16,3	15,60	15,00	14,70	16,50	16,2	15		15,6
9	18,5	15,4	16,9	18,3	18,6	17,5	17	18,5	18,5	16,8	16,2	17,8	17,80	16,80	16,50	17,70	18,3	17,1	15,9	17,9
10	19,4	17,4	17,9	19,2	19,7	18,2	18,7	19,7	19,4	18	17,3	19,8	19,10	18,20	18,30	19,50	19,9	18,2	17,7	19,7
11	19,9	19,1	19,5	20,6	20,2	21,8	20,3	21,9	21,1	21,6	19,9	20,7	20,50	21,50	19,80	21,00	20,2	21,4	19,5	20,5
12	21,6	20,3	21,4	22,4	21,8	22,4	22,9	22,9	21,9	22,4	22,8	22	21,40	22,30	22,70	24,40	21,1	22,1	22,8	22,1
13	22,7	24,4	22,4	23,3	22,8	22,7	24,2	24	22	22,8	24,5	23,5	22,10	22,40	24,10	23,40	21,9	23	23,9	23,3
14	23,6	24,3	23,9	24	23,2	23	25	24,6	22,7	22,9	25	24,6	22,50	23,10	24,70	24,30	22,4	23,1	24,2	24,4
15	23	24,4	26	22,6	22	22,9	26	24	22,5	23,1	25,5	23,8	22,00	23,30	25,70	23,70	21,8	22,9	24,5	23,4
16	22,6	23,6	26,5	23	21	22,9	26,5	23,4	20,8	23	25	23	20,60	24,00	26,50	23,00	20,6	23	24,8	23,2
17	19,9	22,8	25	20,7	19,2	22,8	26	21,9	19	23,6	26	21,7	18,90	23,20	25,70	21,80	18,9	22,9	24,7	21,3
18	18,9	21,8	22,5	19,5	17,9	22,7	23,8	21,1	17,8	22,8	24,8	19,9	17,50	22,80	24,70	20,00	17,4	22,7	24,6	19,8
19	19	19,8	21	17,3	17,9	21	23,2	18,9	18,7	20,9	23,1	19,1	16,60	20,40	22,70	18,50	16,5	20,9	24	18
20	14,5	17,8	20,5	15,6	15,6	18,8	22	16,7	15,2	18,9	21,2	15,9	15,10	18,30	21,50	15,50	14,6	18,7	20,2	15,8
21	13,6	16,2	16,6	13,3	13,8	16,7	19,1	13,9	12,3	16,6	19,7	13,8	13,10	16,40	18,90	13,60	13,4	16,5	19,5	
22	12,6	13,7	14,5	11,4	11,8	14,2	16,6	11,5	12,9	13,9	15,8	11,5	11,70	13,20	17,00				17	
23	11,8	10,6	12,9	9,2	10,3	11,2	14,8	9,4	9,7	12,2	14,6	9								
24	7,4	8,8	9,5	7,6	7,5	8,8	12,5	7,6		8,8	12,9	6								
25	5,5	7,6	8,5	5,8	4,5	7	10,8						9,8							
26			7																	

Nota: As barras verticais estão distânciadas de 2,5 cm. As leituras são em centímetros.

Sulco M5

	Antes rega1				Depois Rega1				Depois da rega 2				Depois da rega3				Depois da rega5			
	20m	80m	140m	200m	20m	80m	140m	200m	20m	80m	140m	200m	20	80	140	200	20m	80m	140m	200m
1				6,6																
2	8	6	9,5	6,6																
3	8	6,8	10,3	6,8																
4	9	10	12,6	8,5			10,5													
5	10,5	10,5	14,3	9,8	10,5	10,5	12,4	9	8,1	11,5	9,8	10,2								
6	12	11,6	15,8	10	13	10,5	14,5	11	9,9	13,6	11,5	11,9	11,90		13,80					
7	15,5	15,8	18	12,3	14,9	14,2	16,5	11,8	10,4	15,8	13,6	14,7	14,60		15,60	10,20	14,5		15,6	
8	17	16,5	19,3	13	16,5	15,8	17,9	14,5	12,7	16,6	15,7	16,3	16,50	14,10	16,60	12,60	16,2	15,2	17,8	12,8
9	19,7	16	22	17	17,7	17,6	19	16,1	15,7	19,2	16,7	17,8	17,80	16,70	19,00	15,70	17,8	17,1	19,8	15,7
10	20,1	17,8	23,7	19,5	19,5	19	20,7	16,5	17,1	20,6	19	19,2	19,10	20,00	20,50	17,20	19,1	19,9	20,5	17
11	21,2	19	24,2	20,6	20,5	21,3	21,7	18,7	19,1	21,6	21,7	20,5	20,60	21,00	22,00	19,20	20,3	20,7	21,9	18,8
12	21,3	21	25	21,3	22,3	21,9	23,5	20,7	20,7	23,2	22,2	21,7	21,20	21,50	23,40	20,00	20,9	21,1	23,4	19,1
13	23	22,2	25	21,5	23	22,1	24,3	20,9	20,4	24,2	22,3	22,2	21,70	21,50	24,50	19,50	21,1	20,8	24,2	19,9
14	22,6	22,5	25	22,3	22,1	22,3	24,5	20,9	20,1	24,4	22,2	21,9	21,40	21,60	24,50	20,20	21,4	20,7	24,3	19,8
15	20	22,5	25	21,2	20,7	22,2	24,4	20,9	19,9	24,5	22,1	20,5	20,20	21,70	24,10	20,10	19,9	21,5	24,5	19,5
16	19,5	23,4	24,5	20,7	19,6	21,9	24	20,1	20	24,2	22	19,4	19,20	21,50	24,20	19,80	19	21,3	23,9	19,4
17	18,2	22	24,1	19,2	18,7	21,8	22,8	18,2	18,6	22,9	22	18,5	18,30	21,20	22,70	19,00	18,2	21,4	22,7	18,9
18	17,8	21,3	22,4	17,7	17,5	21,4	21,9	17,1	17,3	21,5	21,9	17,5	17,20	21,30	20,90	17,10	17	21,1	21,2	17
19	15	19,2	21,3	16,5	15,6	21,2	19,6	16,2	15,7	19,8	21,5	15,6	15,50	21,00	19,20	15,50	15	20,9	19,7	14,9
20	13,8	18	17,6	14	13,7	18,6	18,6	13,8	14	17,6	18,2	13,8	13,50	17,10	16,50	13,90	13,3	17,2	17	
21	12	16,3	15	11,5	11,2	16	17,3	11,4	11,9	15	16	11,5		15,20	14,50	11,50	11	15,4		
22	10	13,8	12,9	10	9,6	13,6	15,4	10,5	9,4	12,8	13,5	9,6		13,40				13		
23	7,9	11,5	12	8,5		11,5	13,3	9,2		10,7	11,3	8								
24	6,3	9,5	8,5	6,8		9,7	11,1	7,8				9,6								
25	4,5	8,2	8,1	5,1																
26	3,5	7,3	7	5																
27			7																	

Anexo 6.13.2 Levantamento dos perfis com o perfilômetro de barras em 1999

Levantamento dos perfis Antes da rega

1

Dia 22,06,99

Barra	Sulco M2				Sulco M5				Sulco m8				Sulco M11			
	20m	80m	140m	200m	20m	80m	140m	200m	20m	80m	140m	180m	20m	80m	140m	200m
1																
2																
3																
4			6						4	11,5	10,7	11,3	4,8	11	10,3	
5	4,9	6,9	7,7	4,9	3,8	5,2	4,9	6,9	7,8	12	11,7	14,2	7	14,5	12,3	
6	7,1	8,8	10,2	6,5	6,3	6,5	7,5	9,9	10,5	15,7	12	15,8	9,5	14,5	16,7	
7	8,9	10,8	12,2	7,9	7,8	9,1	9,8	11,1	12,9	17,6	17	16	12,6	17,7	20,1	
8	11,4	14,2	14,8	12,6	11,5	12,4	11,9	15,8	14,5	18	17,7	19,2	15,5	16	21	2
9	13,4	17,2	16,2	14,4	12,3	14,4	14	17,5	16,8	20,7	20,1	20,5	17,6	19,1	17,9	6
10	15,9	18,9	17,9	16,4	15,6	15,7	16,9	18,8	17	22,6	22,4	20,9	21	20,7	19,6	9,4
11	17,8	20,2	20,6	18,9	17,2	16,3	14	19,2	18	21,5	24,5	20,7	21	21,5	19	11,3
12	19,8	22,4	22,8	20,8	16,2	19,5	18,5	22,5	21	25	25	20,8	23,5	21	20	13,9
13	20,7	23,7	22,9	20,9	17	20,7	16,1	22,8	22,7	25	25	20,8	22	18,5	18,8	15,4
14	22,7	25	21,2	21	16,5	19,9	15,4	22,2	23,3	23,3	23,5	21	25	16,2	19,7	17
15	21,3	24,1	20,5	20	15,3	20,5	16,7	19,8	20,4	22,4	21	18,1	23,3	13,5	20	17,4
16	20,4	22,8	19,2	17,9	15	18,8	12,6	21,4	22,1	21,6	20	18,2	19,8	12	18,9	18,5
17	17,5	20,5	17,8	16,2	14,2	18	11,7	19,2	21	19,3	20,5	14,6	16,5	13	14,8	19,8
18	15,6	18,9	15,9	14,8	12,6	18,2	10,1	17,6	17	17,5	17,8	14,2	15	11,3	14	19,3
19	11,9	16,7	13,6	13,2	10,5	16,8	6,3	15,5	18,2	16,2	16	12,6	13,5	9,2	11,2	18
20	6,8	13,1	11,8	11,3	6	15,6	2	14,2	15	14,2	15	8	14	6,4	9,2	16,6
21			10	9,5	4,7	15,2	2,5	9,5	14	11,5	10	6,5	11,2			14,2
22			7,8	6,8	2,9	12,3		6,7	11	7	10,7		8,9			12
23						9,9		6,5	10,2	6			7,4			8,9
24						7,6			7,7							
25																
26																
27																
28																

Levantamento dos perfis Depois da Rega nº

1

Dia 27,06,99

	Sulco M2				Sulco M5				Sulco m5				Sulco M11			
	20m	80m	140m	200m	20m	80m	140m	200m	20m	80m	140m	180m	20m	80m	140m	200m
1																
2																
3																
4														10,2		
5														14	11,8	
6	6													16,2	14,3	
7	8,7		12,6				9,4						11,8	17,3	19,8	
8	9,9	13,7	15,1	12,9	10,4		11,5	13,2					15,6	14,9	19,2	
9	12,7	17,4	16,6	14,5	12,2	12,6	13,7	16,6					17,2	20,3	19,7	
10	14,5	19,4	19,1	17	15,1	14,1	13,5	18					18,8	21,5	20,7	9,5
11	17,4	21,2	21,2	19,5	17,3	16,5	14,6	19					20,2	21,5	20,2	11,1
12	19,9	23	23,1	22	18,3	18,5	15,9	21					21,6	20,7	19,7	13
13	21,3	25	24,2	22,6	18,8	19,4	16	21,7					21,5	19,5	19,5	14
14	22,2	27	24,3	22,8	17,5	20,2	18	20					21,5	18	19,8	15,1
15	21,6	26,9	22,4	21,2	16,9	20,9	13,5	20,8					21,5	14,5	18,7	17,2
16	19,8	24,4	20	19	15,4	20,2	12,2	18,6					20,6	14,2	17,1	18,9
17	17,6	21,9	18,3	16,4	13,5	18,8	11,7	17,1					18,6	12,8	15	18,9
18	15,5	19,4	15,9	15,3	11,7	17,9	9	17					17,2		12,8	18,5
19	11,9	17,1	13,6	13,6	9,7	16,8		15,4					15,3		10,8	17,5
20	9,4	14,6	11,6	12		14,9		13,6					13		7,8	16
21			9,6										11,2			14,1
22																11,5
23																9,4
24																
25																
26																
27																
28																

Nota: As barras verticais estão distânciadas de 2,5 cm. As leituras são em centímetros.

Anexo 6.13.2-cont. Levantamento dos perfis com o perfilômetro de barras em 1999

Levantamento dos perfis Depois da Rega nº 2 Dia 2,07,99

	Sulco M2				Sulco M5				Sulco m8				Sulco M11			
	20m	80m	140m	200m	20m	80m	140m	200m	20m	80m	140m	180m	20m	80m	140m	200m
1																
2																
3																
4																
5																
6				15,5							13,8	13,9	14,1			
7				17,5	9,5	7,6		9,5			15,9	14,5	16,7			
8	11,5	14,5	14,7	12,8	10,5		11,5	14,5	13,1	17,5	17,6	17,5				
9	13,5	16,6	16,8	14,6	12,2	11,7	13,6	16,4	14,8	19,2	18,7	20				
10	15,9	19	18,5	16,9	14,7	14	15,2	18	16,7	21,3	21,9	21,5				
11	17,5	21,8	20,9	19,5	16,5	16,2	15,5	18,4	17,8	22,4	23,4	22,6				
12	19,7	24	23,6	22	17,1	18,1	16,7	21,3	20,6	24,1	24,2	21,7				
13	21,9	27	24,5	28,4	17,9	19,5	16,4	21,8	22,7	24	24,3	21,6				
14	21,9	26,9	24,6	23,9	17,5	20,2	15,5	20,6	22	23,1	24	20,7				
15	21,3	26	22,4	21,8	17	20,7	14,7	18,7	22,1	22	22,7	18,6				
16	19,9	24,5	19,8	19,7	14,8	19,5	12,3	19,9	22	20,1	19,6	17,3				
17	17,6	22,5	18	16,3	13,7	18,8	11,2	18	21,7	17,5	19,1	14				
18	15,9	20,5	15,4	15,2	11,6	17,8	9,9	16,3	17,6	17,5	17,8					
19	12,6	18,3	13,9	13,7		16,6		15	15,8	13,6	16,2					
20	10,5	13,6	11,6	11,6		14,5		13,6	14							
21			10,8	9,7		13,6										
22			7,9													
23																
24																
25																
26																
27																
28																

Levantamento dos perfis Depois da Rega nº 5 Dia 9,07,99

	Sulco M2				Sulco M5				Sulco m8				Sulco M11			
	20m	80m	140m	200m	20m	80m	140m	200m	20m	80m	140m	180m	20m	80m	140m	200m
1																
2																
3																
4																
5																
6				9,8								15				
7				12,2	9,1	7,5	8,8	9,1		15,6	14,5	16,3				
8		13,7	15	12,8	10,4	11,4	11,4	14,7	13,2	17,3	17,5	18,2				
9		17,8	16,7	14,8	12,2	11,5	13,5	16,5	14,6	19,5	19,1	20,2				
10		18,7	19,5	16,6	14,2	14,7	15,4	17,9	16,6	21,4	22	21,6				
11		20,7	21,2	19,2	16,4	16,2	16,1	19,5	17,3	23	23,1	21,6				
12		23,8	23,2	21,4	17,1	18,1	16,2	21,2	20,8	24,6	24,2	22,2				
13		24	24,1	22,6	17,4	19,2	16	21,1	22	24	23,9	21				
14		26,2	24	22,7	16,8	19,6	15,5	20,3	21,7	23,4	23	20,8				
15		26,2	22,1	21,3	14,6	19,8	14,2	20,8	21,6	22,1	22,4	18,5				
16		24	20	19,1	14	19,7	12,3	19,8	21,7	20,5	19,5	17,6				
17		22	18	16,5	12,8	19	11,3	18,6	21,6	18,5	18,8	14,8				
18		19,6	15,9	15,5	11,5	17,8	9,8	16,2	18	16,3	17,7	13,2				
19		16,8	14,1	13,7	9,8	16,7		14,8	15,6	14	16,2					
20				11,8	6,6	14,6		12,7	14,3	12,2						
21						13,2			12,7							
22						11,5										
23						9,8										
24																
25																
26																
27																
28																

Nota: As barras verticais estão distânciadas de 2,5 cm. As leituras são em centímetros.

Anexo 6.13.2-cont. Levantamento dos perfis com o perfilômetro de barras em 1999

Levantamento dos perfis Depois da Rega nº 17 Dia 2,08,99

	Sulco M2				Sulco M5				Sulco m8				Sulco M11			
	20m	80m	140m	200m	20m	80m	140m	200m	20m	80m	140m	180m	20m	80m	140m	200m
1																
2																
3																
4																
5														11,2		
6														14,3	12	
7														16,2	14,2	
8														11,8	18,2	18,5
9	9	11,2	12,7	10	7,6	9,5	8		10,6	16,5	15,3	16,5	11,8	18,2	18,5	
10	11,7	14	15	13	10,4	11	11,6	12,6	13,2	18,2	17,5	18,5	14,2	19,8	19	
11	12,5	16,7	16,6	15	12,2	12,5	13,2	16,2	15	19,8	20,6	19,6	17,3	20,5	20	6,5
12	14,9	18,8	18,8	17,2	14,7	14,9	15,2	17,8	16,3	21,2	21,6	21,5	18,6	20	20,8	8,5
13	17,4	20,8	2,7	19,5	16,6	16	16,5	19,4	18,1	22,7	22,4	22,1	19,3	20	20,6	10,5
14	19,8	23,1	22,8	21,9	17,8	18,2	16,6	20,4	21,2	23,8	23,6	21,8	21,2	20	20,2	12,8
15	20,5	25	22,9	22,8	17,7	19,2	16	20,4	21,3	23,7	23,4	21,2	21,8	19,2	19,8	13,8
16	19,8	25,4	22,8	22,5	17,3	19,5	15,5	20,2	21,4	23,5	23,8	20,5	21,6	18,8	19,4	15,7
17	19,7	25,1	22,2	21	15,3	19,4	14,5	20	21,1	22,5	21,5	19	21,2	15	18,5	17,2
18	19,6	23,9	20	19,2	14,5	19,2	12,2	19,8	21	20,8	20,7	17	19,8	14	17	18,5
19	17,9	22,1	18,2	16,8	13,6	18,7	11,8	19,6	21,1	18,2	18,9	14,9	19,2	12	15,5	17,8
20	15,7	19,8	15,8	15,6	11,9	17,6	10	17,7	19,1	16,5	16,9	13,8	16,8	9,6	12,8	17,4
21	12,5	17,2	14	13,8	9,8	16,7	6,4	15,6	15,5	14,3	14,6	12	13,7		10,8	16,5
22	11	15,4	12,2	11,7	7,5	14,8		14,3	14,5		11		12,5			14,5
23			10,5	9,8		13,5			12,2							11,9
24			9			11,5										10,8
25																
26																
27																
28																

Nota: As barras verticais estão distânciadas de 2,5 cm. As leituras são em centímetros.

Anexo 6.14 Código fonte do programa Janelas.bas

[illegible]

Anexo 6.15 Volumes debitados pelas janelas no ensaio de abertura variável. Regas 4 e 8

Rega 4

Regra 4																		
Volumens debitados pelos diferentes orifícios, I																		
Orifício	29	30	31	32	34	35	63	65	66	69	72	75	77	106	108	110	111	114
1	210	210	140	140	209	209	160	160	140	100	80	182	181	150	130	70	285	282
2	219	180	85	122	252	199	175	142	115	55	58	237	190	140	130	134	140	284
3	163	135	108	193	199	192	130	182	115	52	58	231	281	131	125	97	270	323
4	122	175	181	135	194	180	128	178	58	50	115	180	228	170	120	187	252	225
5	161	302	126	108	192	222	166	88	56	54	143	263	135	168	86	180	245	307
6	273	213	96	106	234	175	163	86	55	53	135	210	219	163	169	176	273	294
7	192	168	94	106	182	173	80	84	54	106	103	122	213	119	166	202	180	273
8	151	166	91	126	178	213	78	82	53	129	151	186	82	230	162	138	244	265
9	146	163	108	96	216	163	76	80	53	129	120	171	195	225	181	176	239	454
10	144	187	82	94	170	156	73	78	101	101	68	61	149	220	126	172	227	227
11	150	132	74	114	156	186	70	154	120	148	108	138	180	252	168	168	223	223
12	110	122	84	79	186	283	67	189	113	120	105	106	137	174	164	164	374	252
13	106	141	62	67	278	134	125	186	82	70	41	129	130	197	155	276	173	132
14	126	106	60	81	130	130	144	144	115	113	96	96	150	189	151	112	151	210
15	96	98	69	120	120	144	138	205	90	99	72	91	113	176	252	101	160	181
16	86	117	106	67	135	101	101	159	50	37	84	108	132	172	112	98	74	126
17	96	173	50	58	96	91	137	90	78	87	62	82	114	288	101	50	118	105
18	144	82	43	57	82	99	96	141	72	62	48	90	154	115	97	84	97	97
19	62	60	45	38	72	55	45	72	25	63	60	78	62	72	38	63	76	84
Total	2549	2721	1564	1767	3073	2897	1991	2340	1405	1527	1627	2579	2862	3203	2502	2579	3515	4061

Rega 8

Regra 8																		
Volumes debitados pelos diferentes orifícios, l																		
Orifício	29	30	31	32	34	35	63	65	66	69	72	75	77	106	108	110	111	114
1	263	266	187	256	315	300	171	173	135	133	137	315	228	270	137	94	379	350
2	245	170	259	80	259	192	164	121	126	126	130	213	219	179	135	360	332	281
3	156	230	79	275	167	284	150	115	121	122	82	207	171	131	88	300	319	270
4	230	71	252	230	245	222	108	104	112	117	260	201	156	129	343	300	315	266
5	74	233	209	149	198	213	106	103	106	115	180	157	144	76	273	300	259	259
6	252	194	134	216	192	205	104	97	103	75	174	142	137	295	262	238	245	257
7	198	125	200	162	186	195	99	95	97	244	171	125	130	260	256	225	230	234
8	120	186	159	141	180	186	94	90	95	156	133	115	129	244	216	205	223	225
9	169	144	147	126	165	209	90	88	62	144	110	110	113	227	193	191	216	216
10	129	135	138	115	180	194	76	58	235	138	101	106	101	186	169	180	198	208
11	117	123	129	105	162	186	68	168	123	109	91	91	89	166	155	158	180	180
12	108	113	117	112	140	126	42	105	111	96	84	86	84	144	142	138	162	151
13	100	105	122	101	105	126	139	90	102	82	80	84	61	130	115	126	150	137
14	90	112	108	94	113	101	90	84	75	74	72	74	54	104	87	90	86	94
15	97	101	86	30	94	66	84	64	65	67	65	49	60	94	83	76	76	76
16	76	79	15	7	54	31	78	55	55	7	48	36	24	79	72	58	54	54
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	2424	2388	2342	2199	2755	2836	1664	1611	1723	1806	1918	2111	1899	2713	2726	3038	3425	3257

dotação média. (regas 4 e 8) em mm

	29	30	31	32	34	35	63	65	66	69	72	75	77	106	108	110	111	114
Rega 4	12,14	12,96	11,17	12,62	14,7	13,86	12,44	14,63	10,04	15,27	20,34	14,17	15,81	21,36	19,25	36,84	12,33	14,4
Rega 8	11,54	11,37	16,73	15,71	13,18	13,57	10,4	10,07	12,31	18,06	23,98	11,6	10,49	18,09	20,97	43,4	12,02	11,55

5 Estrutura simplificada do programa (v 3/ 3i)

100	LEITURA DOS DADOS E DOS DIVERSOS PARAMETROS
300	DIÁLOGO INICIAL
800	APRESENTAÇÃO E ALTERAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA
1300	CÁLCULO DOS CAUDAIS DOS ORIFÍCIOS
1600	CORRECÇÃO DOS CAUDAIS
1650	IMPRESSÃO DOS CAUDAIS
1730	POSICIONAMENTO DO EMBOLO
1735	DETECÇÃO DO AVANÇO
1740	FIM DA REGA NO PRIMEIRO SULCO
1750	DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO DE INFILTRAÇÃO PELO MÉTODO DE ELLIOT E WALKER
1800	DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO DO AVANÇO
1820	DETERMINAÇÃO DA DOTAÇÃO A APLICAR
2000	INÍCIO DA ROTINA DA SIMULAÇÃO DO AVANÇO
2040	DETERMINAÇÃO DOS PARAMETROS DA EQ. DA VELOCIDADE
2050	CÍCLO DE INCREMENTOS DE TEMPO AO LONGO DO SULCO
2055	PERCORRER O SULCO EM CADA INTERVALO DE TEMPO
2060	DETERMINAÇÃO DO ESPAÇO PERCORRIDO NO INT. TEMPO
2070	DETERMINAÇÃO DO VOLUME INFILTRADO NO INCREMENTO VOLUME INFILTRADO EM TODO O SULCO NO INCREMENTO
2075	ARMAZENAMENTO SUPERFICIAL NO INCREMENTO
2080	ACERTO DO AVAÇO EM CASO DE INSUFICIÊNCIA DE CAUDAL
2090	IMPRESSÃO DOS CÁLCULOS
2100	DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE RUGOSIDADE
2200	ROUTINA PRINCIPAL DE DETERMINAÇÃO DOS TEMPOS DE INFILTRAÇÃO
	MUDANÇA DO SULCO A SER CALCULADO
	GESTÃO DOS SULCOS DE VERIFICAÇÃO
2300	DETERMINAÇÃO DO INTERVALO DE TEMPO ENTRE ORIFÍCIOS
3000	ROUTINA DE DETECÇÃO DO AVANÇO
4000	ROUTINA DA SELECÇÃO DA DOTAÇÃO
5000	ANDAMENTO DO EMBOLO
6000	GESTÃO DA REGA- DESLOCAÇÃO DO ÊMBOLO
6040	CONTROLO DA REGA
	MUDANÇA DO SULCO EM REGA
6120	AVANÇO MANUAL DO EMBOLO
6130	REGULAÇÃO MANUAL DA VELOCIDADE DO EMBOLO
6140	CONTINUAÇÃO DA REGA APÓS FALHA ELÉCTRICA
6150	SELECÇÃO DO SULCO EM REGA
6200	ACABAR A REGA

Manual do utilizador



Jan. 2002

Nota importante:

Para utilizar os programas corra o programa **Install.exe** que os copia para o directório CaboGest no seu disco.
(isto não altera a configuração do seu computador, nem instala nada fora do referido directório).

Versões apresentadas:

Versão	Descrição	localização
CaboGest v.1G	Versão original do programa com apresentação gráfica	CD:\v1
CaboGest v.3	Versão normal utilizada em 1999	CD:\3
CaboGest v.3I	Versão com simulação Inversa	CD:\3I
CaboGest v.4	Versão para programadores CipherLab.	CD:\cipher

De cada versão são apresentadas uma versão executável (extensão .exe) e o código fonte (extensão .bas). A versão executável pode ser utilizada directamente, bastando para o efeito escrever o respectivo nome no comando DOS, ou então clicar duas vezes sobre o ficheiro pretendido no Explorador do Windows.

O código fonte (extensão .bas) pode ser visto e alterado no editor de Qbasic, incluído em cada directório.

A versão 4, para controladores CipherLab, pode ser editado no programa BC.exe, fornecido pelo fabricante do equipamento e incluído no directório.

Os programas com detecção automática do avanço activada podem não funcionar correctamente em computadores com sistema operativo Windows e com rato. Por isso estes programas são fornecidos separadamente no directório Campo.

O ficheiro **Comprim.dat** também está em formato texto, e a sua estrutura é do tipo:

```
1, 147, 0
1, 75, 232
2, 75, 232
3, 75, 231
...
...
8, 60, 226
9, 75, 224
..
..
146, 75, 90
147, 75, 50
46, 120
```

O primeiro número refere-se ao número de sulcos de verificação da evolução da rega (ver a secção 4.3.2) existentes no campo (1 neste caso). O segundo número é o número de sulcos existentes no campo (147 neste caso). A segunda linha e as seguintes representam o número do sulco, a distância entre os orifícios no tubo (normalmente 75 mm), e o comprimento do sulco em metros.

A última linha está relacionada com o sulco de verificação. Esta linha contém o seu número (sulco 46 neste caso) e a localização do ponto de controlo do avanço (aos 120 m neste caso). Podem existir mais sulcos de verificação, cada um descrito numa linha separada.

4 Ficheiros acompanhantes

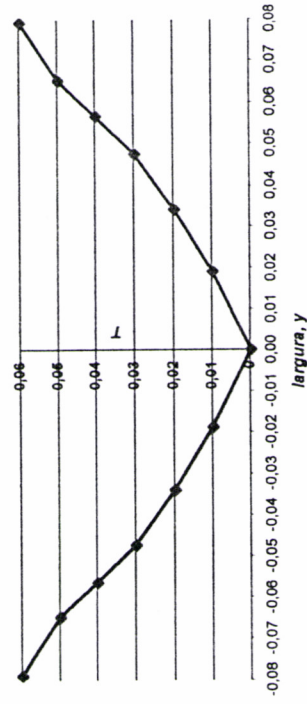
O Programa utiliza dois ficheiros separados para os dados da geometria do sulco (Ficheiro **Geomet.dat**) e do comprimento dos sulcos e os números dos sulcos de verificação (**comprim.dat**). O ficheiro binário **Rega.prn** armazena o nome do ficheiro onde estão armazenados os parâmetros da configuração do sistema. Um quarto ficheiro, cujo nome é atribuído pelo utente, armazena os parâmetros da configuração do sistema e os dados da rega. No caso de uma interrupção, o programa procura aqui os tempos de deslocamento calculados e a posição do êmbolo. Todos estes ficheiros devem estar no mesmo directório que o programa CaboGest.

O ficheiro **Geomet.dat** está em formato texto e portanto pode ser editado em qualquer editor de texto. A sua estrutura é:

FMM =, 750
XM =, 120
7, 0.00, 0.038, 0.068, 0.095, 0.113, 0.13, 0.158

Onde o primeiro número é o espaçamento entre os sulcos (750 mm neste caso), e o segundo a distância até ao primeiro ponto do sulco controlo (120 mm neste caso).

A última linha refere-se aos dados da geometria transversal do sulco, ou seja pares T, y , sendo os y em incrementos de 1 mm e portanto são omitidos. O primeiro número o número total de dados (7 neste caso), incluindo o primeiro ponto, que normalmente é o ponto 0,0. Em seguida estão de baixo para cima as larguras, T (em m) da geometria do sulco.



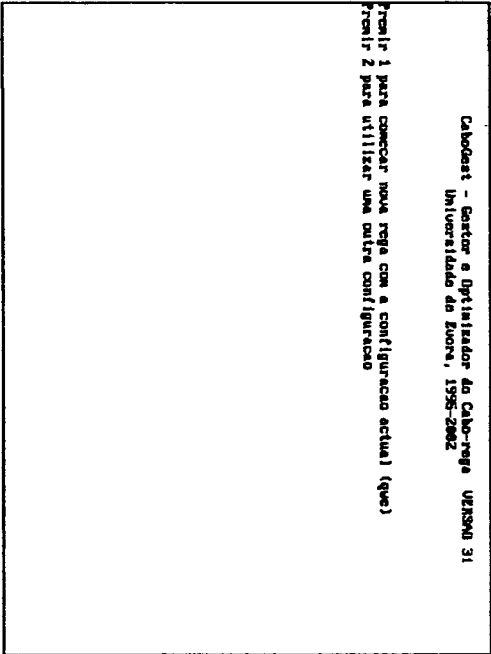
Notas sobre a utilização do programa CaboGest

1 Utilização do programa

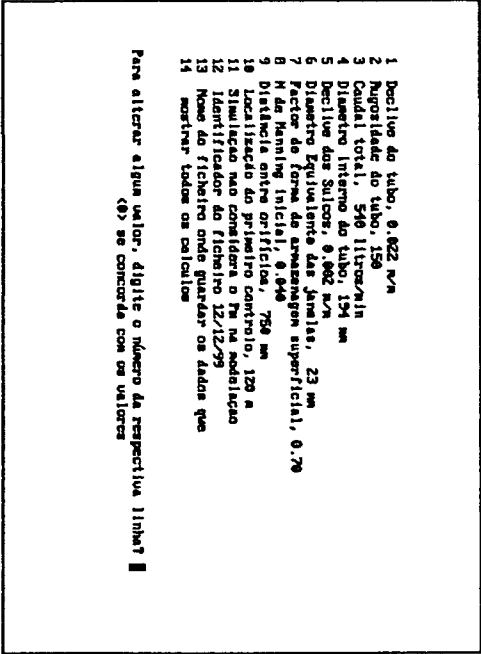
Para além dos dados de geometria e da configuração do campo, o programa precisa dos tempos de avanço até dois pontos no sulco controlo. Naturalmente o segundo tempo será mais de que o dobro do primeiro, visto haver infiltração ao longo do sulco e o abrandamento da velocidade do avanço.

A versão inicial do programa (v.1G) é provavelmente a versão mais simpática, visto as versões seguintes terem sido adaptadas às limitações dos respectivos controladores. Esta versão inclui ainda a representação gráfica da curva de infiltração e da modelação do avanço e da infiltração nos vários sulcos, embora não possua algumas das funções da gestão da rega mais avançadas.

2 Utilização do CaboGest v.3/ v.3i



Ecra de boas vindas. Deve premir 1 para começa utilizando a configuração existente.

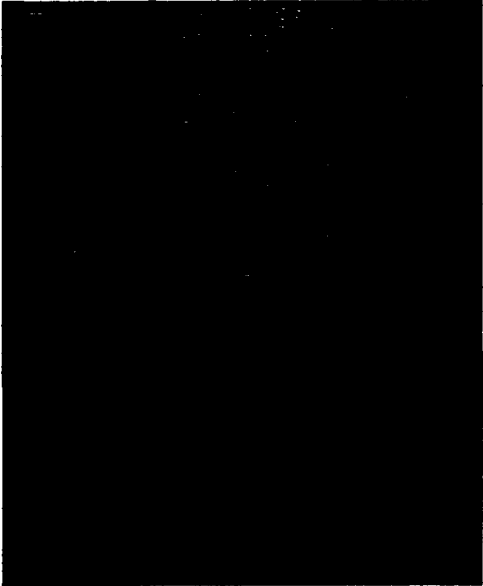


Ecra de alteração da configuração do programa. Digitar o número da linha para alterar o parâmetro.

sulco seguinte. Este ecrã solicita também a profundidade de escoamento medido nos pontos referidos atrás, que devem ser introduzidos separados por uma vírgula..

Quinta Ecra: Após calcular a equação de infiltração, CaboGest mostra graficamente a infiltração acumulada e recomenda a dotação máxima de modo a otimizar a rega. O operador poderá introduzir outro valor

Sexta Ecra: Expõe os cálculos realizados na modelação do avanço nos diferentes sulcos e os tempos obtidos. No lado esquerdo pode-se ver o valor do *n* calculado, os diferentes caudais ao longo do sulco, etc..No lado direito pode-se ver a hora de início de rega em cada sulco, bem como o tempo de avanço previsto, e a frequência do Micromaster. Premir “Esc”, em qualquer altura para sair.



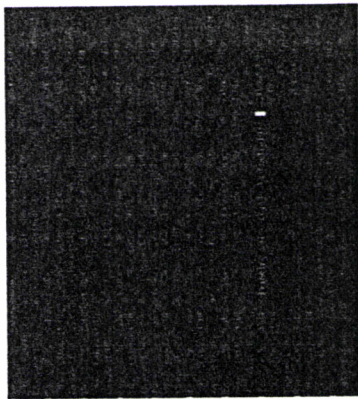
Ecra 6

Sétima Ecra: CaboGest já concluiu os cálculos, e vai avançando o êmbolo de acordo com os tempos e frequências calculadas. Seleccionar “controlo manual” para sair

3 Utilização da versão 1.4G

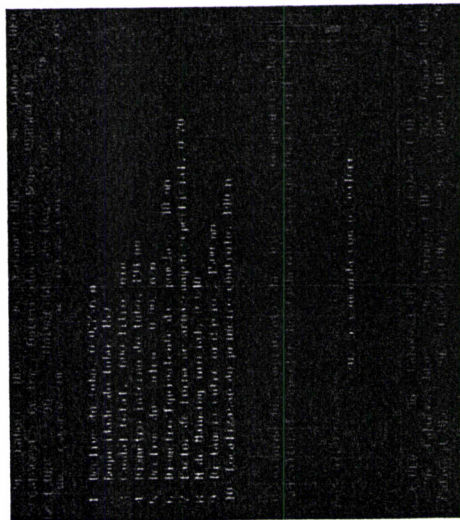
Primeira Ecrã. Esta é a ecrã de boas-vindas. O programa solicita o número do primeiro e último sulco regados.

Segunda Ecrã: Este ecrã permite alterar alguns parâmetros relativos ao sistema, ao caudal e ao modo de cálculo. Digitar 0 para continuar.



Ecră 1

Terceira Ecra: É relativo ao posicionamento do êmbolo no campo. O utilizador já deve ter enrolado o cabo do cabo-rega e ter posicionado o êmbolo algures a montante do primeiro sulco a ser regado. Inicia-se o fornecimento da água ao sistema, e o CaboGest movimenta o êmbolo. O operador carregará numa tecla assim que o Cabo-rega iniciar a rega no sulco pretendido



Ecră 2

Quarta Tela: Nesta tela CaboGest pede os tempos de avanço até ao meio e fim do sulco. O operador deve registar o tempo que a frente de avanço levou para alcançar um ponto no meio e outro no fim do sulco e introduzir estes tempos no programa, separados por uma vírgula..

Depois de introduzir estes dados, CaboGest movimentou o êmbolo para o

Écrã de apresentação dos caudais debitados pelos orifícios do cabo-rega. O programa aguarda agora pelo início da rega no sulco controlo.

	Carga Flutuante e Caudal	
Orif. Q(L/sig)	Orif. Q(L/sig)	
1 0.13	10 0.62	
2 0.20	13 0.64	
3 0.25	20 0.66	
4 0.29		
5 0.32		
6 0.35		
7 0.38		
8 0.41		
9 0.44		
10 0.46		
11 0.49		
12 0.51		
13 0.53		
14 0.55		
15 0.57		
16 0.59		
17 0.61		

Posicionamento do êmbolo no sulco controle

Iniciar o fornecimento da água

Deteção automática ou premir uma tecla quando alcançar o sulco 12

Hora Inicio da Rega 11 : 0

Tempo de avanço até meio sulco (min)	Tempo de avanço até fim do sulco (min)
7 25	7 55

Tempo de avanço até meio sulco (min)	Tempo de avanço até fim do sulco (min)
7 25	7 55

Introdução manual dos tempos de avanço até dois pontos no sulco avanço.

Geometria do Salco:

$b(1s) = 1,25 \times 10^{-8} \text{ m}$
 $a(1s2) = 0,72 \times 10^{-8} \text{ m}$
 $P_0(1s) = 2,87 \times 10^{-3}$
 $\theta(1s2) = 0,157 \text{ rad}$
 $\theta(1s) = 2,095 \text{ rad}$

Equação de infiltração pelo método de Elliott e Walker
 $Z(\text{cm/min}) = 0,00191 \times t^{0,48756}$

Dotação Recomendada = 2.56 mm

- (1) Outro valor
- (2) Aceita este
- (3) usar outra equação

附：〇

Apresentação dos parâmetros da geometria e da equação de infiltração. O programa sugere uma dotação e aguarda um pouco pela introdução de um novo valor, caso desejado.

Salco controlito = 12		In = 0.042		Salco t.aveada t.4es mib comp Salco	
temp. msc. g/infilitzer		Sem = 0.60in			
12	55	12	55	12	55
13	56	13	56	13	56
14	57	14	57	14	57
15	58	15	58	15	58
16	59	16	59	16	59
17	60	17	60	17	60
18	61	18	61	18	61
19	62	19	62	19	62
20	63	20	63	20	63
21	64	21	64	21	64
22	65	22	65	22	65
23	66	23	66	23	66
24	67	24	67	24	67
25	68	25	68	25	68
26	69	26	69	26	69
27	70	27	70	27	70
28	71	28	71	28	71
29	72	29	72	29	72
30	73	30	73	30	73
31	74	31	74	31	74
32	75	32	75	32	75
33	76	33	76	33	76
34	77	34	77	34	77
35	78	35	78	35	78
36	79	36	79	36	79

Apresentação dos cálculos. Do lado esquerdo são apresentados os cálculos da modelação. Estes cálculos podem ser desligados na ecrã da configuração. Do lado direito são apresentados o número do sulco, o tempo de avanço simulado, o tempo de deslocamento do êmbolo e o comprimento do sulco.

Hora 11: 4
 Sulco sendo regado: 13
 A rega acaba às 13: 14
 Hora mudança sulco 11: 7

Controlo da Nega

Preslir (B) para acabar a rega e sair
Preslir (1) Para avançar o anábulo manualmente
Preslir (2) Para afimar unificado
Preslir (3) para mudar o sulco sendo regado

Écra final de controlo da rega. São apresentadas as horas do início e fim da rega, o sulco sendo regado, a hora da mudança do sulco e a dotação real aplicada nesta rega. São também apresentadas as opções de controlo manual da rega.