

Duplicado 53812

RICARDO PAULO SERRALHEIRO

2.^o

**UM ESTUDO DA REGA POR SULCOS
NUM SOLO ARGILUVIADO**



170 124

Dissertação apresentada à Universidade de Évora
para satisfação parcial dos requisitos para a obten-
ção do grau de Doutor em Engenharia Agrícola,
especialidade Hidráulica Agrícola.

ÉVORA

1988

A edição deste trabalho foi subsidiada pelo Instituto Nacional de
Investigação Científica

AGRADECIMENTOS

Para elaborar a presente dissertação beneficiei da colaboração e do apoio de várias pessoas, sem as quais não teria sido possível concretizar este trabalho. Portanto, é-me grato mencioná-las aqui.

Em primeiro lugar o Sr. Professor António Gonçalves dos Santos Júnior, que aceitou ser o Orientador da minha preparação para Doutoramento e sempre me estimulou a vencer os obstáculos que surgiram. Mesmo depois de assumir a responsabilidade de Reitor da Universidade de Évora, o Sr. Professor Santos Júnior encontrou, no meio das inúmeras preocupações que o absorvem, a forma de apoiar a concretização da presente dissertação.

O Sr. Professor Alfredo Gonçalves Ferreira leu uma primeira forma do texto e fez sugestões que ajudaram na sua melhoria.

O Sr. Professor Inácio Rebelo de Andrade leu a forma original do texto, sugerindo muitas alterações na redacção, que me ajudaram a torná-la mais clara e correcta.

O Sr. Professor Francisco Mercês de Mello fez também uma revisão do texto, preocupando-se sobretudo com os aspectos matemáticos envolvidos. Devo-lhe por isso muitas observações importantes.

O Sr. Eng^o Téc. Agr. Victor Dimas dos Reis deu-me inestimável colaboração nos trabalhos de computação, em que pôs o seu entusiasmo e a sua competência. Fica credor do meu reconhecimento especial.

Agradeço ao Sr. Eng. Lino Lúcio preciosas ajudas no trabalho de computação e aos outros trabalhadores do Serviço de Computação da U.E. a disponibilidade que sempre manifestaram.

Contei sempre, desde o início dos trabalhos de campo até à dactilografia, passando pela construção e adaptação de equipamentos, com o inteiro empenhamento dos funcionários e trabalhadores da Divisão de Engenharia da Universidade de Évora, Srs. António Seixas, Eng.º Téc. Agr. António Silveira, Custódio Alves, Fernando Rosado, Manuel Junça e Miguel Rosa.

A dactilografia de boa parte deste texto foi feita pela Sra. D. Eugénia Simões.

Deve também ficar expresso o meu reconhecimento às instituições que, para além da Universidade de Évora, apoiaram a realização do Projecto de Investigação no âmbito do qual se fez a presente dissertação: Acordo Luso-Alemão de Cooperação entre Universidades; A.I.D.; I.N.I.C. (Centro de Ecologia Aplicada).

Finalmente, devo dizer que não teria sido possível escrever esta dissertação se não fosse o apoio da minha mulher e das minhas filhas, que muito sacrificaram do direito que tinham à minha atenção e ao meu convívio.

Ricardo Paulo Serralheiro

ÍNDICE

RESUMO	9
LISTA DOS SÍMBOLOS USADOS	11
INTRODUÇÃO	17
Cap. 1 - PERSPECTIVA DO CONHECIMENTO ACTUAL DA REGA POR SULCOS	23
1.1. MODELAÇÃO MATEMÁTICA DA REGA DE SUPERFÍCIE	24
1.1.1. Equações do escoamento	24
1. Equação da continuidade	25
2. Equação da quantidade de movimento	28
1.1.2. Modelos matemáticos do escoamento	31
1. Modelo hidrodinâmico completo	33
2. Modelo de inércia nula	34
3. Modelo de onda cinemática ou do escoamento uniforme	35
4. Modelo do balanço volumétrico	36
1.2. ESTUDO DA INFILTRAÇÃO EM SULCOS DE REGA	38
1.2.1. Especificidade da infiltração em sulcos	38
1.2.2. Infiltrómetros de sulco	39
1.2.3. Equações da infiltração	40
1.2.4. Dependência infiltração/dimensões da secção transversal	43
1.2.5. Métodos estatísticos para obter as equações da infiltração	47

1.2.6. Obtenção das equações da infiltração por modelação teórica	50
1.2.7. Obtenção das equações da infiltração a partir de dados das regas	52
1. Método de Elliott e Walker	53
2. Método de Burt et al.	56
3. Método de Elliott et al.	57
 Cap. 2 - APROXIMAÇÃO EXPERIMENTAL	 59
 2.1. CARACTERIZAÇÃO HIDROPEDOLÓGICA DO CAMPO DE ENSAIOS	 60
 2.2. GEOMETRIA DA SECÇÃO TRANSVERSAL DOS SULCOS	 67
2.2.1. O "perfilómetro" de sulco	67
2.2.2. Equações-potências do perímetro e da área	71
2.2.3. Equação da parábola	79
2.2.4. Quantificação das alterações	81
 2.3. TESTES DE INFILTRAÇÃO. INFILTRÓMETROS	 84
2.3.1. Infiltrómetro de sulco bloqueado	85
2.3.2. Infiltrómetro de sulco com retorno	86
 2.4. ENSAIOS DE REGA	 89
2.4.1. Modalidades de ensaio. Dimensões	89
2.4.2. Equipamento	91
2.4.3. Determinações e registos	93
 2.5. ESTUDO DA RUGOSIDADE DOS SULCOS	 94

Cap. 3 - EQUAÇÕES DA INFILTRAÇÃO	97
3.1. EQUAÇÕES OBTIDAS DOS DADOS DE AVANÇO DAS REGAS	98
3.1.1. Procedimento original de Elliott e Walker (1982)	98
3.1.2. Extensão do método	101
3.1.3. Aspectos específicos do avanço em sulcos em solo Argiluvado	107
3.1.4. Aspectos específicos das equações de infiltração obtidas	110
3.2. EQUAÇÕES OBTIDAS DOS TESTES EM INFILTRÓMETROS	117
3.2.1. Tratamento dos dados	117
1. Equações procuradas	117
2. Métodos de recessão	118
3.2.2. Ajustamento das equações aos dados de campo	119
1. Critérios de comparação	119
2. Escolha das equações e do método de regressão	120
3.2.3. Influência do perímetro molhado	123
3.2.4. Influência de outros factores	128
1. Espaçamento entre sulcos	128
2. Tipo de infiltrómetro	130
3. Ordem de rega	130
3.3. CONCLUSÕES	132

Cap. 4 - ANÁLISE COMPARATIVA DAS EQUAÇÕES DA INFILTRAÇÃO	133
4.1. BALANÇO VOLUMÉTRICO DAS REGAS	134
4.1.1. Programa ANREGA para o balanço volumétrico	135
4.1.2. Teste das equações obtidas do avanço das regas	136
4.1.3. Teste das equações obtidas em infiltrómetros	139
4.2. MODELO DE ONDA CINEMÁTICA	143
4.2.1. Programa KINWAVE de Walker (1984)	144
4.2.2. Teste das equações de infiltração por modelação do escoamento	144
4.3. CONCLUSÕES	153
 Cap. 5 - APLICAÇÃO E DESENVOLVIMENTO	 155
5.1. CONTROLO COMPUTORIZADO DA REGA POR SULCOS	156
5.1.1. Programa de análise das qualidades das regas	156
5.1.2. Qualidades potenciais sem "cut-back"	157
5.1.3. Opção "cut-back"	159
5.1.4. Aplicação ao controlo directo e automático dos sistemas	165
5.2. DESENVOLVIMENTO FUTURO DA INVESTIGAÇÃO	168
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 171
 ANEXOS	 179
A - Fotografias	
B - Programas de computador	
C - Quadros de resultados	
D - Dados de campo	

RESUMO

Empreendeu-se um estudo da rega por sulcos num solo Argiluvado do Alentejo, procurando-se conhecer o melhor possível todo o processo de rega por sulcos, com vista a poder-se convenientemente projectar, construir e conduzir os sistemas com este método de rega.

Na linha da maior parte dos trabalhos de investigação científica que há anos vem sendo conduzida em vários países, sobretudo os E.U.A., perspectivam-se duas grandes linhas de estudo: a modelação matemática do escoamento na rega e a do processo de infiltração em sulcos. Deu-se atenção maior ao estudo da infiltração, que é aspecto menos conhecido e estreitamente dependente das condições específicas, nomeadamente edáficas, em que se trabalhe. O objectivo principal foi pois definir o tipo de que será e o método com que se estabelecerá a equação que melhor possa representar a infiltração, com vista à simulação em projecto, ao controlo e à análise da rega por sulcos em solo Argiluvado. Complementarmente, estudaram-se alguns aspectos determinantes da infiltração e do escoamento na rega; são eles a geometria da secção transversal dos sulcos e a rugosidade.

Fizeram-se ensaios de rega num campo experimental, com as modalidades definidas por combinação de declives e módulos parcelares. As equações da infiltração - dos tipos Kostiakov , Lewis e Philip - foram obtidas por dois métodos: o dos infiltrómetros e um método de balanço volumétrico que usa os tempos de avanço observados nas regas. Dos infiltrómetros, fizeram-se dois tipos: de sulco bloqueado e com retorno. O método de balanço volumétrico usado foi o proposto por Elliott e Walker (1982) para a equação de Lewis e

extendido neste trabalho para se obter também os outros dois tipos de equação.

Nos solos Argiluvitados, o horizonte A é muito permeável e o B é-o muito pouco. Por isso a infiltração é a principio muito rápida, logo se tornando muito lenta, o que se reflete num avanço relativamente lento e uniforme. Nestas condições, a infiltração não é bem representada por equações dos tipos Lewis ou Philip. Obtidas pelo método de Elliott e Walker, muitas de tais equações não são monotónicas, assumindo valores negativos o expoente do tempo na equação de Lewis e a constante da segunda parcela na de Philip.

As equações da infiltração determinadas foram comparadas por dois processos, qualquer deles usando os dados dos ensaios de rega realizados. Para o primeiro processo usou-se o programa ANREGA, que basicamente realiza duas vezes o balanço volumétrico de cada rega, uma com os dados obtidos nos ensaios e outra simulando-os por uso da equação da infiltração em teste. O segundo processo baseia-se na modelação da rega pelo programa KINWAVE de Walker (1984), no qual se incorpora a equação da infiltração em teste. A equação da infiltração tipo Kostiaikov $I=kt^2$, é a que melhor representa a infiltração em sulcos no solo Argiluvitado. Para a obter, o método de Elliott e Walker é melhor que o dos infiltrómetros e de entre estes é preferível o de sulco com retorno.

Os dois programas de computação utilizados para testar as equações da infiltração ficam disponíveis como importantes instrumentos para o projecto dos sistemas de sulcos. O programa ANREGA foi concebido para analisar a eficiência e a uniformidade das regas, servindo para o aperfeiçoamento destas, até à optimização das qualidades. Com base nele perspectiva-se para um próximo futuro o desenvolvimento de um processo de automatização da rega por sulcos, que pode constituir importante inovação tecnológica.

LISTA DOS SÍMBOLOS USADOS

símbolo	grandeza representada	dimensões
a	expoente do tempo nas equações da infiltração	
A	área da secção transversal do escoamento	L ²
A _b	área total da sec. tr., medida com o perfilómetro	L ²
A _L	valor médio de A ao longo do comprimento L	L ²
A _{L/2}	valor médio de A ao longo do comprimento L/2	L ²
A _t	$\partial A/\partial t$, derivada parcial de A em ordem a t	
A _x	$\partial A/\partial x$, derivada parcial de A em ordem a x	
A ₀	área da secção transversal na entrada do sulco	
b ₁ , b ₂ , b ₃	coeficientes na equação do 2º grau	
B	largura superficial do escoamento	L
B _t	$\partial B/\partial t$, derivada parcial de B em ordem a t	
B _x	$\partial B/\partial x$, derivada parcial de B em ordem a x	
c	índice de valor calculado ou simulado	
C	coeficiente na 2ª parcela da eq. da infiltração de Philip; constante na do S.C.S.	
C _u	coeficiente de uniformidade (Christiansen)	
d	porosidade do solo	
D	dotação de rega; altura total infiltrada; volume infiltrado por unidade de superfície	L
e _i	eficiência de infiltração	
e _a	eficiência de aplicação	
ERM	erro relativo médio	
f	parâmetro empírico na equação do avanço do S.C.S.; factor de correcção no método de Elliott e Walker	
F	força	
F _w	componente do peso W na direcção do escoamento	LMT ⁻²
g	aceleração da gravidade	LT ⁻²
G	parâmetro empírico na equação do avanço do S.C.S.	

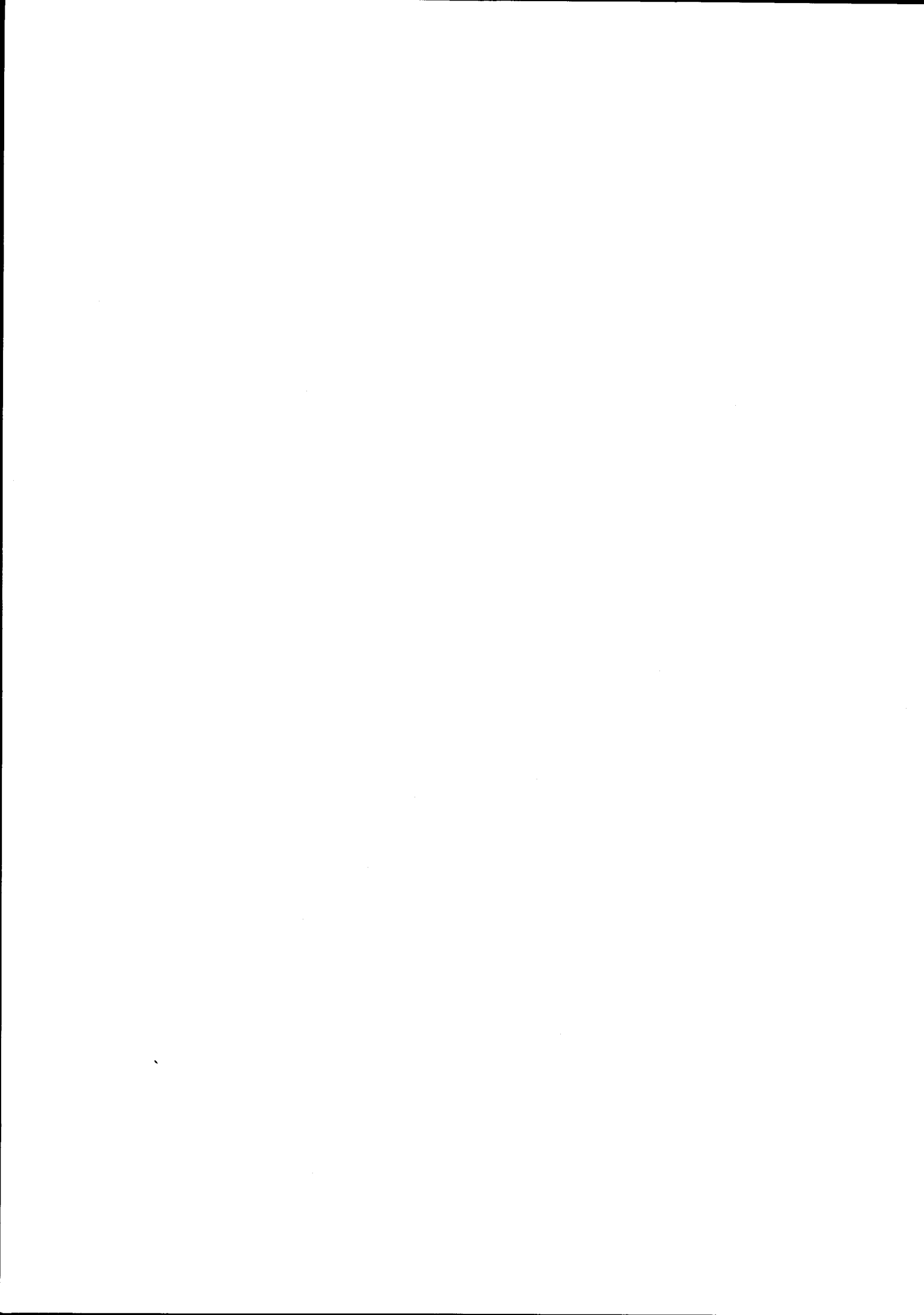
símbolo	grandeza representada	dimensões
h	altura da água acima do centro de gravidade da secção transversal do sulco	L
H	potencial hidráulico	L
i	infiltrabilidade do solo, na infiltração em sulco	L^{2T-1}
i_f	infiltrabilidade final, ou estabilizada	L^{2T-1}
i_1	infiltrabilidade média, em todo o sulco, na 1ª fase de "cut-back"	L^{2T-1}
i_2	infiltrabilidade média, em todo o sulco, na 2ª fase de "cut-back"	L^{2T-1}
i_t	$\partial i / \partial t$, derivada parcial da i em ordem a t	
i_x	$\partial i / \partial x$, derivada parcial de i em ordem a x	
I	volume integral infiltrado por unidade de comprimento do sulco	L^2
j	aceleração	LT^{-2}
k	coeficiente empírico nas equações da infiltração	$L^{2T-(1+a)}$
K	condutividade hidráulica do solo, em saturação	LT^{-1}
l	coeficiente na equação-potência da área da sec. transversal	
log	logaritmo nepperiano	
L	comprimento do sulco	L
m	massa	M
MAE	média absoluta do erro relativo	
MEA	média dos erros absolutos	
n	coeficiente de rugosidade de Manning	
N	número de observações	
o	índice de valor observado	
p	coeficiente na equação-potência do avanço e na do perímetro molhado	
P	pressão resultante, soma das pressões P1 e P2	$L^{-1}MT^{-2}$

símbolo	grandeza representada	dimensões
P1, P2	pressões exercidas nas paredes do elemento de fluido pela massa fluida adjacente	$L^{-1}MT^{-2}$
PM	perímetro molhado da secção transversal do escoamento	L
q	expoente de y na equação-potência da área da secção transversal	
Q	caudal	L^3T^{-1}
Q0	módulo parcelar; caudal na entrada do sulco	L^3T^{-1}
Q _r	caudal reduzido ou de manutenção, em "cut-back"	L^3T^{-1}
Q1	caudal na estação a 100 m da entrada do sulco	L^3T^{-1}
Q2	caudal na estação a 200 m da entrada do sulco	L^3T^{-1}
Q _t	$\partial Q/\partial t$, derivada parcial de Q em ordem a t	
Q _x	$\partial Q/\partial x$, derivada parcial de Q em ordem a x	
r	expoente do tempo na equação-potência do avanço e de y na do perímetro molhado	
R	raio hidráulico da secção transversal do escoamento	L
s	variável espaço	L
S	coeficiente ("sorvidade") na eq. da infiltração Philip	
S0	declive longitudinal da razante do sulco	
S _f	declive correspondente às perdas de energia por atrito	
t	tempo; tempo (minutos) decorrido desde o início da rega	T
t _a	tempo de alimentação; valor de t em que cessa a alimentação da parcela	T
t _{an}	valor ajustado de t _c para melhorar as "qualidades" da rega	T
t _b	valor de t no fim da 1ª etapa de recessão	T
t _c	tempo calculado	T
t _o	tempo medido	T

símbolo	grandeza representada	dimensões
t_{rx}	tempo de recessão para o comprimento x	T
t_x	tempo de avanço para o comprimento x	T
u	grau de saturação do solo	
v	porosidade do solo	
V	velocidade	LT^{-1}
V_t	$\partial V/\partial t$, derivada parcial de V em ordem a t	
V_x	$\partial V/\partial x$, derivada parcial de V em ordem a x	
∇	volume	L^3
∇_e	volume excedente, medido na secção terminal do sulco	L^3
∇_f	volume excedente calculado, para comparar com ∇_e	L^3
∇_i	volume infiltrado	L^3
∇_{ic}	volume infiltrado calculado ou modelado	L^3
∇_{in}	volume entrado no elemento de escoamento	L^3
∇_u	volume suposto útil, isto é, posto ao alcance das raízes	L^3
∇_{out}	volume saído do elemento de escoamento	L^3
∇_p	volume perdido por percolação em profundidade	L^3
∇_0	volume entrado no sulco no tempo de alimentação	L^3
∇_{lt}	volume do elemento de fluido no instante t	L^3
w	espaçamento entre sulcos	L
W	peso do elemento de fluido	LMT^{-2}
x	comprimento	L
y	altura de água sobre o talvegue do sulco	L
y_x	$\partial y/\partial x$, derivada parcial de y em ordem a x	
Z	quantidade integral de água infiltrada	L
Z_0	valor de Z na entrada do sulco	L

SÍMBOLOS DO ALFABETO GREGO

símbolo	grandeza representada	dimensões
α	valor intermédio no método de Elliott e Walker	
β	valor intermédio no método de Elliott e Walker	
γ	peso específico do fluido	$L^{-2}MT^{-2}$
δ	ângulo da razante do sulco com a horizontal	radianos
ϵ	parâmetro do solo na equação de Horton	
ρ	massa específica do fluido	$L^{-3}M$
ρ_1, ρ_2	parâmetros empíricos da geometria da secção transversal, tais que $A^2R^{4/3} = \rho_1A\rho_2$	
σ_1, σ_2	parâmetros empíricos da geometria da secção transversal, tais que $y = \sigma_1A\sigma_2$	
σ_y	factor de forma superficial, no modelo do balanço volumétrico, tal que $\sigma_y = A/A_0$	
σ_z	factor de forma de infiltração, no modelo do balanço volumétrico	
τ	qualquer intervalo de tempo, diferença entre dois valores de t	T
τ_x	tempo útil de infiltração verificado à distância x da cabeceira	T
τ_D	tempo necessário para se infiltrar a dotação D	T
τ_{C1}	duração da 1ª etapa de cut-back	T
τ_{C2}	duração da 2ª etapa de cut-back	T
τ_p	duração da fase de manutenção	T



INTRODUÇÃO

A rega por sulcos é um dos métodos de rega que se costuma designar por de escoamento, designação que engloba ainda os métodos das faixas e do escoamento livre. São técnicas de rega que têm em comum a chegada da água ao contacto com as plantas deslocando-se em lençol mais ou menos extenso, infiltrando-se à medida que avança sobre a parcela de rega, condicionada por formas de armação do terreno que são o seu principal elemento de definição e caracterização. As parcelas são longas (algumas centenas de metros), alimentadas geralmente pelo lado menor; o processo de rega é (com excepção do escoamento livre) completa ou quase completamente automatizável, o que confere aos métodos um grande interesse técnico e económico.

Podem distinguir-se quatro fases do escoamento na rega por escoamento:

1 - Fase de avanço: inicia-se com a alimentação da parcela; a toalha de água forma-se e avança desde o início da parcela a montante até ao extremo a jusante;

2 - Fase de manutenção: em que toda a parcela está sob a toalha, em infiltração; o regime não é permanente, já que a

infiltrabilidade do solo continua a diminuir, do que resulta aumentar o caudal em qualquer secção;

3 - Fase de depleção: Terminada a alimentação da parcela, diminui a altura da toalha de água sobre o solo, até que a superfície deste começa a ficar a descoberto; é uma fase normalmente curta, pelo que em geral se inclui na seguinte;

4 - Fase de recessão: a toalha vai desaparecendo da superfície do solo, de montante para jusante, porque se infiltra e porque se escoia.

Os agricultores americanos dos estados do Oeste e do Sul, que mais experiência têm de agricultura de regadio, conhecem bem estes métodos, desenvolveram-nos e aperfeiçoaram-nos, praticando-os em muito maior extensão que quaisquer outros métodos de rega.

Com menor frequência mas com interesse crescente, os métodos de escoamento são também praticados por muitos agricultores do Sul de França, onde são tradicionais a rega por sulcos e por faixas.

Em Portugal, como acontece em outros países mediterrânicos, a maioria dos agricultores não sabe conciliar os factores da rega por escoamento - módulo parcelar, declive, rugosidade, comprimento, geometria das parcelas, etc. - de modo a obter eficiência e uniformidade de rega satisfatórias.

Por isso os métodos tradicionais de rega de superfície são entre nós métodos de submersão, onde parece mais fácil governar a água. As parcelas são em geral pequenas caldeiras, excepto para regar o arroz. Mesmo para as culturas em linhas, tão adequadas à rega por sulcos, abertos aliás entre elas, o que tradicionalmente se faz é dividir os sulcos em troços de 10 a 20 m, constituindo assim pequenas caldeiras alongadas, que serão depois cheias, submersas, uma a uma, com todo o caudal disponível. Os métodos tradicionais de rega em Portugal são pois métodos de submersão: extremamente trabalhosos, logo caros, não mecanizáveis nem automatizáveis, têm eficiência e uniformidade pelo menos duvidosa.

A rega por aspersão tem sido encarada como a técnica destinada a substituir extensivamente os métodos de superfície,

considerados genericamente "clássicos", incluindo neste conceito a ideia de que são pouco eficientes. É uma perspectiva errada. Por um lado, como já se disse acima, nem todos os métodos de superfície são clássicos e pouco eficientes; por outro, os custos dos equipamentos de rega por aspersão e da energia requerida para o seu funcionamento impedem a adopção generalizada do método. É por isso importante melhorar os métodos de superfície.

As situações topográficas mais comuns em rega por sulcos são de terra plana, em que as parcelas têm traçado rectilíneo e correm paralelas entre si. Será então tecnicamente fácil organizar a distribuição e a alimentação das parcelas. Em outros casos, quando o terreno não for naturalmente plano, a nivelção poderá ser de custo elevado e talvez mesmo proibitivo.

No Alentejo a topografia é em geral ondulada, ainda que de modo suave, o que por si só desencorajaria ou proibiria a nivelção. Soma-se a isso o facto de mais de 1/3 dos solos do Alentejo serem Argiluvitados (Bessa, 1969). Neles, a remoção de todo ou parte do horizonte A para nivelção, ainda que fosse economicamente possível, seria agronomicamente rejeitável, pois deixaria à superfície ou perto o horizonte B, sempre tão pouco permeável, difícil de trabalhar e de penetrar pelas raízes.

É sabido que nestas situações agrológicas se põem outros problemas hidrogrícolas, nomeadamente a necessidade de promover a drenagem por sistemas de superfície, bem como a exigência de defender o solo contra a erosão. A organização do terreno para a rega por sulcos deverá enquadrar-se assim num triplo compromisso: da rega, da drenagem e da conservação do solo.

Basicamente, o sistema consistirá no terraceamento para defesa contra a erosão. A fim de promover a drenagem do horizonte A (eliminação da toalha freática suspensa), as valas serão suficientemente profundas, atingindo assim o horizonte B. As linhas de cultura, logo os sulcos de rega, serão paralelos aos cômodos dos terraços.

Vê-se que não haverá trabalhos de nivelção. Vê-se também que

os órgãos de alimentação das parcelas serão segundo os maiores declives do terreno, o que pode trazer alguns problemas de execução, cuja solução é preciso experimentar. Também de estudar em futuro próximo serão os aspectos de automatização da rega na situação descrita, bem como a exequibilidade e o interesse de tecnologias como o "cut-back" e o "surge-flow", termos que se poderão traduzir respectivamente por "rega com redução de caudal" e "rega com escoamento intermitente".

A condução conveniente dum sistema de rega, com maximização da eficiência e da uniformidade e com minimização dos custos, baseia-se num adequado projecto. Este pressupõe, por seu lado, uma boa descrição do processo de rega, isto é, um bom conhecimento das relações entre as diversas variáveis determinantes do escoamento: características de infiltração do solo, módulo parcelar, declive, rugosidade de superfície, comprimento da parcela, geometria da sua secção transversal e tempo de rega. Foi este conhecimento que se procurou em relação às condições do solo Argiluvado. Para tal foi delineado e desenvolvido um projecto de investigação e organizado um campo experimental. A presente dissertação dá conta da primeira fase do citado projecto.

Privilegiou-se a aquisição do conhecimento das condições específicas da rega por sulcos em solo Argiluvado, o que exigiu a realização de vários ensaios de campo e a análise dos factores determinantes do escoamento. De entre eles, destacou-se o processo de infiltração.

Não se pretendeu inserir o trabalho no desenvolvimento da modelação matemática do escoamento, já que têm ido nessa direcção um bom número de investigações dos autores americanos, pelo que seria reduzida a probabilidade de se avançar o conhecimento por essa via. Por outro lado, os modelos desenvolvidos são evidentemente utilizáveis em quaisquer locais e solos, desde que se conheçam os parâmetros requeridos pelo modelo para caracterizar as condições.

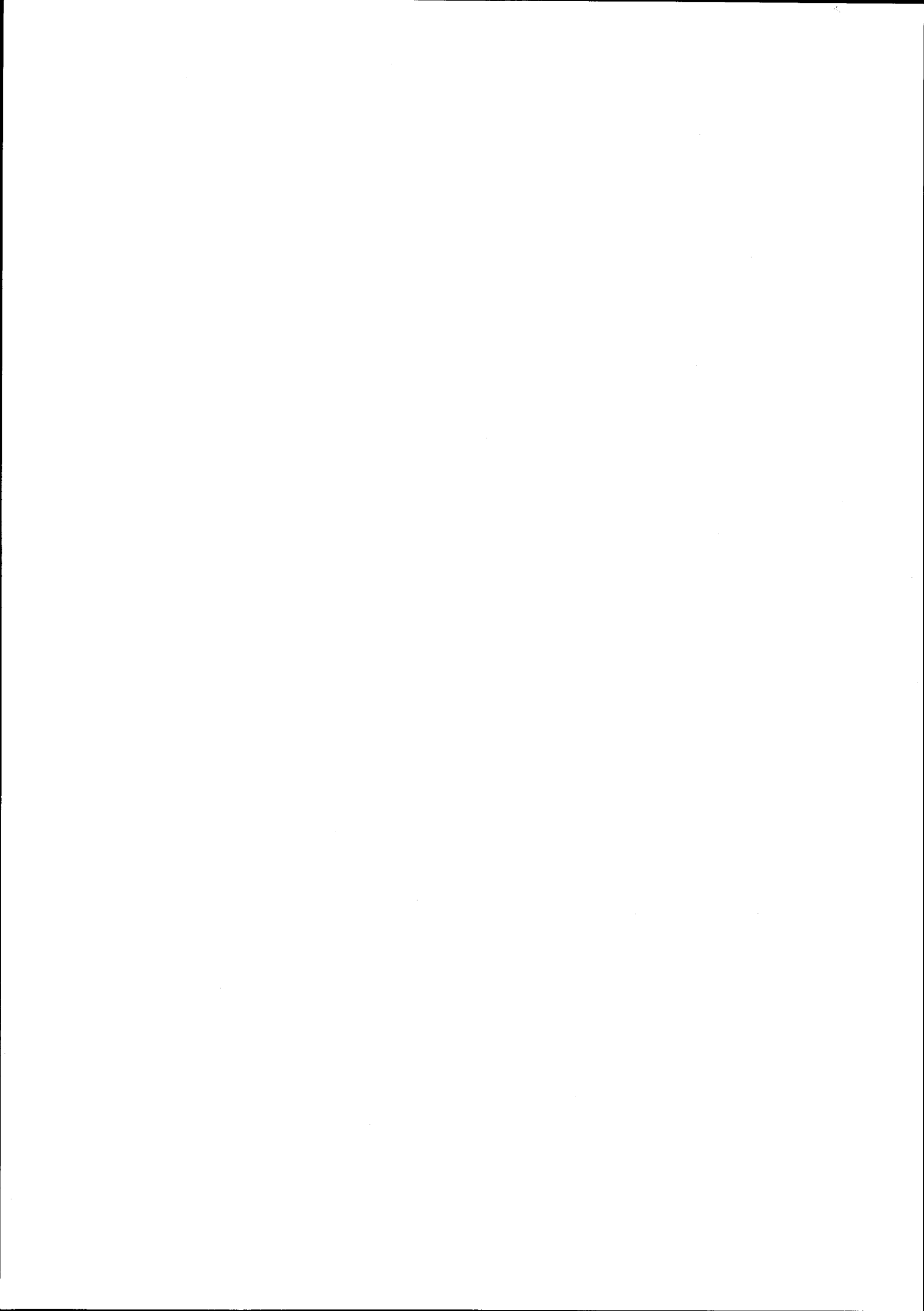
A infiltração em sulcos é um processo que se pode estudar como bidimensional: a água entra no solo nas direcções vertical e

horizontal. Não têm sido muitos os trabalhos de investigação que se debruçam sobre a relação entre a quantidade de água infiltrada em dado tempo e as dimensões da secção transversal do sulco. Procurou-se no presente projecto dar alguma atenção a esse aspecto desenvolvendo-se, conforme se descreve nos capítulos 2 e 3, um estudo da geometria da secção transversal e abordando-se ainda a influência do perímetro molhado no processo de infiltração em sulcos.

Descrevem-se no capítulo 3 alguns métodos, seleccionados, de obter as equações da infiltração; analisam-se tais métodos e propõem-se algumas modificações. As equações obtidas são, no capítulo 4, comparadas por dois métodos: verificação do balanço volumétrico e inserção num modelo matemático do escoamento.

O primeiro método é uma aplicação de um processo desenvolvido com o objectivo, mais amplo, de analisar as regas. Resultam daí indicações de procedimento para controlo dos tempos de alimentação e dos módulos parcelares, de modo a permitir, conforme se descreve no capítulo 5, otimizar as qualidades da rega. Isto consistirá em maximizar a eficiência e a uniformidade e em minimizar o trabalho do regante. Tal análise é ainda susceptível de desenvolvimento, para resultar na automatização de todo o processo de rega.

Por outro lado, o modelo matemático do escoamento permite simular a rega de modo a fornecer, na fase de projecto, as dimensões dos sulcos e os parâmetros para a condução das regas. Os sistemas poderão ser construídos e inicialmente conduzidos de acordo com tais elementos de projecto. Logo se recolherão, das próprias regas, os elementos da análise que permitirá otimizar-lhes as qualidades.



CAPÍTULO 1

PERSPECTIVA DO CONHECIMENTO ACTUAL DA REGA POR SULCOS

A elaboração de um adequado projecto de rega de superfície pressupõe que se conheça ou se possa prever com suficiente exactidão o processo de rega, isto é, o conjunto de relações entre as variáveis determinantes do escoamento. Tal processo pode hoje ser descrito fundamentalmente por modelação matemática, e é no sentido do aperfeiçoamento dos modelos que se tem desenvolvido nos últimos anos muita da investigação científica em rega de superfície, sobretudo nos E.U.A..

De entre os determinantes do escoamento, salienta-se o processo de infiltração, o qual tem por isso de ser devidamente considerado em qualquer modelo. Trata-se no entanto de um processo muito complexo, sobretudo em sulco. Daí que muitos dos trabalhos de investigação continuem a debruçar-se sobre ele.

O moderno conhecimento da rega de superfície surge assim sumariado em duas grandes frentes: a estrutura dos modelos matemáticos da rega e o processo de infiltração.

1.1. MODELAÇÃO MATEMÁTICA DA REGA DE SUPERFÍCIE

1.1.1. Equações do escoamento

O escoamento numa toalha de água numa parcela de rega de superfície faz-se sempre em regime variável. De facto, sendo o solo um meio poroso, terá sempre maior ou menor infiltrabilidade, pelo que o caudal que passa sobre ele vai diminuindo da quantidade de água que se vai infiltrando. Assim, o regime é variável, mesmo que a geometria da secção da parcela se mantenha ao longo do comprimento de escoamento e a parcela se possa considerar prismática - como se assumirá para uma faixa ou um sulco de rega. É-o ainda que o solo se possa considerar espacialmente homogéneo, o que não acontece em geral. E isto porque, em qualquer caso, as características hidráulicas do escoamento são sempre diferentes de uma secção para outra.

Esse escoamento é governado pelas equações de Saint-Venant: a Equação da Continuidade e a da Quantidade de Movimento, derivadas por sua vez de outras mais gerais e conhecidas da Física newtoniana: a Lei da Conservação da Massa

$$\frac{\partial m}{\partial t} = 0 \quad (1.1)$$

e a Segunda Lei de Newton ou Lei da (conservação da) Quantidade de Movimento (ou ainda Princípio Fundamental da Dinâmica)

$$F = m \cdot j = m \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial (mV)}{\partial t} \quad (1.2)$$

nas quais m significa massa, t tempo e F a força exterior que, aplicada à massa m , lhe comunica a aceleração $j = \partial V / \partial t$. Nas duas secções seguintes (1 e 2) resume-se a dedução das duas equações de

Saint-Venant, segundo Walker e Skogerboe (1982). Em Abecasis (1973), encontra-se uma dedução das mesmas equações, um pouco menos detalhada que a seguida aqui mas de âmbito mais geral.

1.1.1.1. Equação da continuidade

O troço de sulco representado na fig. 1.1 é um exemplo do escoamento numa parcela de rega de superfície, destacando-se o elemento de comprimento dx , no qual entra no instante t o caudal Q , ao qual corresponde a profundidade y da toalha, a área A da secção

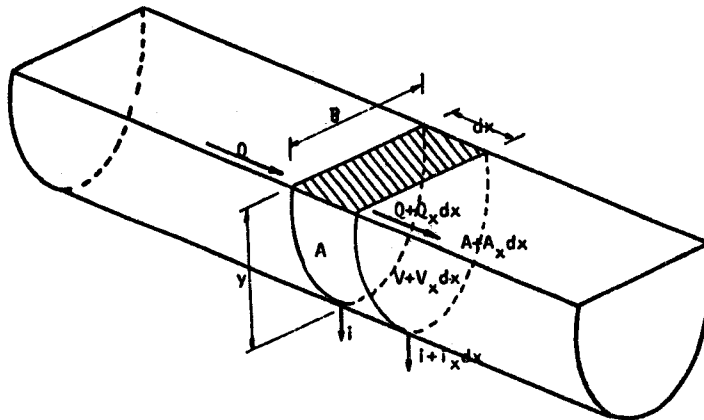


Fig. 1.1 - Elemento de fluido escoando num sulco em regime variável (Walker e Skogerboe 1982)

transversal, a velocidade média V e uma largura B à superfície, sendo i a taxa de infiltração. Para simplificar as notações matemáticas, convence-se representar por f_x a derivada em ordem a x de qualquer grandeza f e por f_t a respectiva derivada em ordem a t :



$$f_x = \frac{\partial f}{\partial x} \quad e \quad f_t = \frac{\partial f}{\partial t} \quad (1.3)$$

No instante t , as condições à saída do elemento de escoamento são $Q+Q_x dx$, $\gamma+\gamma_x dx$, $B+B_x dx$, $i+i_x dx$, $A+A_x dx$ e $V+V_x dx$. Toma-se como representativa das condições existentes durante o intervalo dt a média das condições verificadas nos instantes t e $t+dt$. Assim ter-se-á:

$$\nabla_{in} = Q \cdot dt; \quad \nabla_{out} = Q \cdot dt + Q_x \cdot dx \cdot dt; \quad \nabla_i = i \cdot dx \cdot dt \quad (1.4)$$

como volumes respectivamente entrado, saído e infiltrado no elemento dx durante o tempo dt .

O princípio da conservação da massa (ou do volume) implica então que a variação dV de volume verificada no elemento de escoamento de comprimento dx durante o intervalo dt seja

$$\begin{aligned} dV &= \nabla_{in} - (\nabla_{out} + \nabla_i) \\ &= Q \cdot dt - Q \cdot dt - Q_x \cdot dx \cdot dt - i \cdot dx \cdot dt \\ &= - Q_x \cdot dx \cdot dt - i \cdot dx \cdot dt \end{aligned} \quad (1.5)$$

donde

$$\frac{dV}{dt} = - (Q_x + i) \cdot dx \quad (1.6)$$

Por outro lado, a variação dV de volume em dx durante dt pode calcular-se pela diferença entre os volumes contidos no elemento de escoamento nos instantes t e $t+dt$, respectivamente:

$$\nabla_{it} = \frac{A + (A + A_x dx)}{2} dx \quad (1.7)$$

e

$$\nabla|_{t+dt} = \frac{(A+A_t dt) + (A+A_x dx) + (A+A_x dx)_t \cdot dt}{2} dx \quad (1.8)$$

donde se obterá uma expressão para o balanço volumétrico que simplificada será:

$$dV = A_t \cdot dx \cdot dt \quad (1.9)$$

de onde

$$\frac{dV}{dt} = A_t \cdot dx \quad (1.10)$$

Juntando agora (1.6) e (1.10) obtém-se

$$A_t \cdot dx = -(Q_x + i) dx \quad \text{ou} \quad A_t = -Q_x - i \quad (1.11)$$

Lembrando que A_t , Q_x e i representam, como se convencionou, as derivadas parciais em ordem a t e a x das respectivas grandezas e voltando à notação matemática normal ter-se-á então:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial I}{\partial t} = 0 \quad (1.12)$$

forma usual da primeira equação de Saint-Venant ou Equação da Continuidade para o escoamento variável numa parcela de rega de superfície.

1.1.1.2. Equação da quantidade de movimento

A Lei da Conservação da Quantidade de Movimento deriva, como já se disse, da segunda lei de Newton (1.2), que estabelece que a força exterior F aplicada à massa m obriga esta a variar correspondentemente a sua quantidade de movimento; ou, de outro modo, que num sistema em que as forças se equilibram é nula a variação total da quantidade de movimento.

As forças F podem ser forças de massa (o peso do fluido) e forças de superfície (as pressões exercidas por massas adjacentes defluidos e o atrito nas paredes). A fig. 1.2, ampliação do elemento de escoamento de comprimento dx , largura superficial B e altura y da figura anterior, mostra, para além das características do escoamento e grandezas já descritas, as forças exteriores actuantes: o peso W do elemento de fluido e a sua componente F_w na direcção do escoamento; as pressões P_1 e P_2 exercidas pela massa fluida adjacente nas paredes de montante e de jusante do elemento; as forças de atrito F_f , desenvolvidas junto das paredes, opondo-se ao movimento.

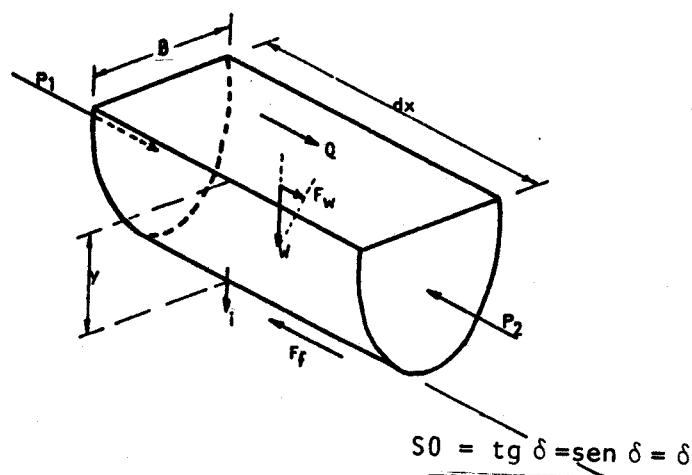


Fig. 1.2 - Ampliação do elemento de fluido em regime variável, com representação das forças exteriores actuantes (Walker e Skogerboe, 1982)

a) Forças de massa

Se o ângulo de inclinação longitudinal do fundo da parcela de rega é pequeno, como geralmente acontece, ele pode confundir-se com a sua tangente (declive) e o seu seno e ainda a medida do ângulo, se expressa em radianos. Assim, a componente F_w do peso W do elemento de fluido segundo a direcção do escoamento poderá escrever-se:

$$F_w = W \cdot \sin \delta \approx W \cdot \tan \delta = W \cdot S_0 \quad (1.13)$$

O peso W pode tomar-se como o produto do volume elementar $A \cdot dx$ pela densidade do fluido γ . Será então:

$$F_w = \gamma \cdot A \cdot dx \cdot S_0 \quad (1.14)$$

b) Pressões

Se for P_1 a pressão média exercida entre os instantes t e $t+dt$ na secção de montante do elemento de fluido, de área A , e P_2 a correspondente na secção de jusante, de área $A+A_x \cdot dx$, a pressão resultante, $P=P_1-P_2$, será dada por:

$$P = -\gamma \cdot A \cdot y_x \cdot dx \quad (1.15)$$

c) Forças de Atrito

Aceita-se geralmente que as forças de atrito se desenvolvem de modo semelhante ao que acontece no regime permanente. Assim, a diferença entre elas e as outras forças exteriores actuando no elemento de fluido e descritas nas equações (1.14) e (1.15) será compensada por variação na quantidade de movimento. Por outro lado,

o declive S_f da linha piezométrica devido às forças de atrito pode obter-se a partir da equação da energia escrita para o regime permanente. As forças de atrito F_f serão:

$$F_f = \gamma A S_f dx \quad (1.16)$$

O declive S_f pode na prática determinar-se mediante uma das equações conhecidas do regime permanente (Chezy, Manning-Strickler, Darcy-Weisbach, etc.).

d) Balanço da quantidade de movimento

Note-se agora que a variação da quantidade de movimento do elemento de fluido em relação a um referencial exterior será igual à variação da quantidade de movimento dentro do elemento somada aos fluxos de quantidade de movimento através das suas fronteiras. Estes últimos resultam em:

$$\left[\frac{d(mV)}{dt} \right]_{i-0} = \rho(QV_x dx + VQ_x dx) \quad (1.17)$$

Por outro lado, a variação da quantidade de movimento dentro do elemento de fluido entre os instantes t e $t+dt$ é:

$$(mV)|_{t+dt} - (mV)|_t = (\rho VA_t dx dt + \rho AV_t dx dt) / dt \quad (1.18)$$

Finalmente, somando (1.17) e (1.18), obtém-se:

$$\frac{d(mV)}{dt} = \rho(QV_x dx + VQ_x dx + VA_t dx + AV_t dx) \quad (1.19)$$

Agora é fácil combinar as equações das forças actuantes (1.14), (1.15) e (1.16) com (1.19) para obter a equação da quantidade de movimento, a qual, dividida por $A dx$, fornece:

$$S_0 - \gamma x - S_f = \frac{VV_x}{g} + \frac{VQ_x}{gA} + \frac{VA_t}{gA} + \frac{V_t}{g} \quad (1.20)$$

Usando a equação (1.12) para substituir os segundo e terceiro termos do segundo membro da equação (1.20) e voltando à notação matemática usual, tem-se finalmente como Equação da Quantidade de Movimento

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f + \frac{iV}{gA} \quad (1.21)$$

1.1.2. Modelos matemáticos do escoamento

As duas equações de Saint-Venant (1.12) e (1.21) são equações às derivadas parciais, para as quais não se tem solução analítica. Daí que, por largo tempo, elas não tenham contribuído grandemente para o desenvolvimento do saber acerca da Hidráulica da Rega de Superfície.

Desde há bastantes anos se têm feito esforços para desenvolver o conhecimento desta matéria (Lewis e Milne, 1938; Fok e Bishop, 1965; Hart, Bassett e Strelkoff, 1968; Wu e Bishop, 1970); algo se avançou, nomeadamente nas técnicas de realização do balanço volumétrico. No entanto, não se foi longe na descrição do escoamento, até que Strelkoff (1970) apresentou um procedimento satisfatório para a resolução numérica das equações de Saint-Venant.

Desde então vários investigadores fizeram bons e rápidos avanços na modelação matemática da rega por faixas, mais simples que a de sulcos (Strelkoff, 1977; Strelkoff e Katopodes, 1977; Katopodes e Strelkoff, 1977 a) e b); Sakkas e Strelkoff, 1974; Fonken et al., 1980; etc.).

Pode definir-se modelo dum fenómeno como uma simulação ou reprodução, em escala, de tal fenómeno. No caso presente, o fenómeno a modelar é o escoamento na parcela de rega. A fazer-se por via matemática (modelo matemático), tal simulação ou representação terá de consistir, como é óbvio, na determinação das dimensões e características do escoamento ao longo do espaço (comprimento da parcela) e do tempo (desde o início da rega). Isto implica a resolução das equações de Saint-Venant para um número muito grande (tanto maior quanto mais perfeita se pretender a simulação) de pares de valores espaço-tempo (que constituem a "malha" de resolução). Vê-se assim que os modelos implicam basicamente a resolução repetida das equações de Saint-Venant.

Muitos dos recentes trabalhos de investigação nesta matéria, como os acima citados, preocupam-se essencialmente com encontrar ou desenvolver técnicas de cálculo numérico que, em conjunto com a crescente capacidade de cálculo dos computadores, têm tornado possível a resolução suficientemente aproximada das duas equações. Pode então considerar-se que os modelos consistem, essencialmente, em esquemas de resolução ou algoritmos das equações de Saint-Venant.

Tal resolução implica, a maior parte das vezes, a introdução de aproximações simplificadoras na equação da quantidade de movimento. Todos os modelos usam, sem alteração, a equação da continuidade. Conforme a natureza da simplificação introduzida, constituem-se vários tipos de modelo matemático do escoamento, que em seguida se referem: hidrodinâmico completo, de inércia nula, de onda cinemática e de balanço volumétrico.

1.1.2.1. Modelo hidrodinâmico completo

É o tipo de modelo mais perfeito e que se tem mostrado capaz de prever com elevado rigor o escoamento em faixas (Katopodes e Strelkoff, 1977 b)). Como o nome indica, resolve as equações do escoamento - da continuidade e da quantidade de movimento - completas, sem assumir aproximações simplificativas. O seu grande inconveniente, que lhe tem comprometido a utilidade, é o de exigir um computador poderoso em memória e velocidade de cálculo, que mesmo com estas características demora muito tempo, por vezes horas, em cada execução. Resulta, assim, muito dispendioso.

A resolução das equações do escoamento tem-se baseado no chamado método das características, que aliás é usado também noutros modelos, nomeadamente no de inércia nula. Souza (1981) resolveu as equações completas do escoamento, para o caso dos sulcos, usando uma outra técnica, a do volume deformável de controlo.

O método das características consiste essencialmente em adimensionalizar as equações, dividindo-as por parâmetros característicos. Depois, por combinação, os termos adimensionais resultantes reduzem-se em número, consequentemente reduz-se o número de "inputs" para o modelo. Por outro lado, tal adimensionalização converte as equações, de diferenciais às derivadas parciais, em diferenciais ordinárias, para cuja solução já são conhecidos métodos numéricos.

A solução pelo "volume deformável de controlo" consiste em acompanhar "células" de fluido que se formam na fronteira de montante e se deslocam para jusante, ao mesmo tempo que se deformam. Cada célula é atravessada nas suas fronteiras de montante e de jusante por caudais diferentes e variáveis, de modo que variam do instante t_{i-1} para o instante t_i todas as dimensões da célula: volumes, coordenadas das paredes de montante e de jusante, limites superior (superfície livre) e inferior (frente de humedecimento de infiltração), conforme se representa na fig. 1.3.

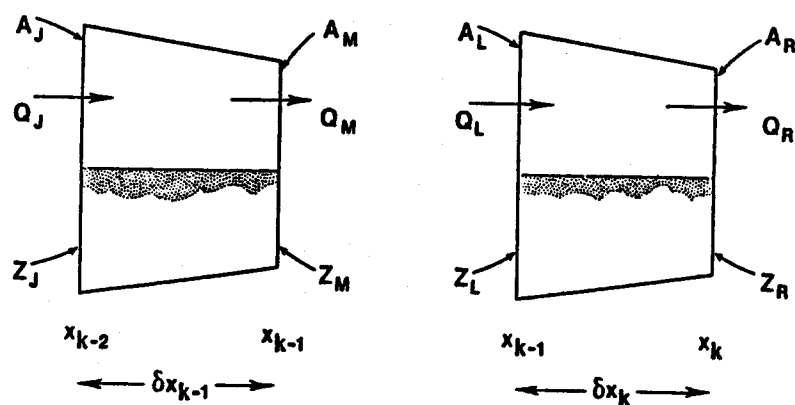


Fig. 1.3 - Representação esquemática da "célula deformável de controle" em dois instantes sucessivos (Elliott et al., 1982)

1.1.2.2. Modelo de inércia nula

Nos modelos chamados "de inércia nula", simplifica-se a equação (1.21) desprezando-se os termos inerciais, isto é, aqueles em que figuram acelerações. Então, a equação da quantidade de movimento resume-se a

$$\frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f \quad (1.22)$$

o que simplifica extraordinariamente a resolução. De acordo com muitos autores que têm desenvolvido e aplicado este tipo de modelo, o rigor das simulações não é significativamente afectado.

A maior parte dos autores tem usado na resolução o método das características. Alguns transformam o modelo em método de projecto de faixas, quer horizontais (Clemmens e Strelkoff, 1979), quer inclinadas (Strelkoff e Clemmens, 1981). Elliott (1981) resolve

as equações (1.12) e (1.22) para o caso dos sulcos. Nestes, porém, a solução parece não ser ainda adequada para constituir método de projecto.

1.1.2.3. Modelo de onda cinemática ou do escoamento uniforme

Se na equação da quantidade de movimento já simplificada em (1.22) se desprezar a variação da profundidade da água $\partial y/\partial x$, a equação resumir-se-á a:

$$S_0 = S_f \quad (1.23)$$

Ora esta é a hipótese do movimento uniforme: há em cada momento e em cada secção compensação do declive geométrico pelas perdas de energia devidas ao atrito; verifica-se uma relação única entre o caudal e as dimensões da secção transversal do escoamento. Essa relação é traduzida por uma das equações do regime permanente, sendo geralmente usada a de Manning. Está substituí, neste tipo de modelos, a equação da quantidade de movimento não se usando assim, para descrever o escoamento, as leis da Dinâmica. O escoamento, estudado assim apenas cinematicamente, assemelha-se à propagação de uma onda, razão por que os modelos se designam "de onda cinemática". A designação "de escoamento uniforme", Também usada, deve-se como é óbvio ao uso fundamental de uma equação própria do escoamento uniforme.

O desenvolvimento matemático consiste na resolução da equação da continuidade (1.12), por um dos dois métodos já referidos: o das características ou o do volume deformável de controlo. A geometria da secção transversal do sulco é descrita por relações empíricas como

$$y = \sigma_1 A^{\sigma_2} \quad \text{e} \quad A^2 R^{4/3} = \rho_1 A^{\rho_2} \quad (1.24)$$

onde y é a altura da água sobre o talvegue do sulco, A a área da secção transversal do escoamento, R o respectivo raio hidráulico e $\sigma_1, \sigma_2, \rho_1$ e ρ_2 parâmetros empíricos. Da equação de Manning e atendendo a (1.23) tira-se:

$$S_0 = \frac{Q^2 n^2}{A^2 R^{4/3}} = \frac{Q^2 n^2}{\rho_1 A^{\rho_2}} \quad (1.25)$$

de onde se tira Q cuja derivada, em conjunto com a equação da infiltração, se substitui em (1.12), seguindo-se uma cadeia de transformações que conduzem à resolução da equação (Walker e Humpherys, 1983).

Em virtude de (1.23), este tipo de modelo não é aplicável a parcelas horizontais. Strelkoff e Katopodes (1977) acham que ele simula as condições do escoamento tanto melhor quanto maior for o declive longitudinal. Walker e Skogerboe (1982) referem que este tipo de modelo não simula bem a fase de recessão.

1.1.2.4. Modelo do balanço volumétrico

Este modelo ignora totalmente a equação da quantidade de movimento. Em sua substituição, admite a hipótese empírica de que a área média da secção transversal é constante em qualquer tempo, o que pode traduzir-se por

$$\bar{A} = \sigma_y A_0 \quad (1.26)$$

sendo \bar{A} a área média da secção transversal, A_0 a área normal na entrada da parcela (correspondente a Q_0) e σ_y uma constante que se pode designar por "factor de forma superficial".

Em cada momento verifica-se o balanço volumétrico, tomando a equação da continuidade o aspecto

$$Q_0 t = \nabla_y(t) + \nabla_z(t) \quad (1.27)$$

onde Q_0 é o módulo parcelar, t o tempo decorrido desde o início da rega, $V_y(t)$ o volume superficial (sobre a parcela) e $V_z(t)$ o volume infiltrado no tempo t . Por outro lado, será

$$V_y(t) = \bar{A}x = \sigma_y \cdot A_0 \cdot x \quad (1.28)$$

e, considerando a infiltração independente das dimensões da secção transversal,

$$V_z(t) = \int_0^x Z(s, t) ds = \int_0^x Z(t - t_s) ds \quad (1.29)$$

sendo t_s o tempo de avanço para qualquer comprimento s ao longo da parcela. Se se definir um "factor de forma da infiltração",

$$\sigma_z = \frac{\int_0^x Z(t - t_s) ds}{Z_0 \cdot x} \quad (1.30)$$

em que Z_0 é o volume infiltrado na entrada da parcela (portanto no tempo t), a equação do balanço pode escrever-se

$$Q_0 \cdot t = \sigma_y \cdot A_0 \cdot x + \sigma_z \cdot Z_0 \cdot x \quad (1.31)$$

Nas equações (1.29) e (1.30) a infiltração é expressa em função do tempo e do espaço (este através do tempo de avanço), o que dificulta a resolução. São conhecidas quatro formas de resolver a equação (1.31), que constituem quatro modelos de balanço volumétrico. Enunciam-se apenas: 1) aproximação recursiva; 2) aproximação pela função de Kernel; 3) aproximação pela transformada de Laplace e 4) aproximação por uma função potência.

1.2. ESTUDO DA INFILTRAÇÃO EM SULCOS DE REGA

1.2.1. Especificidade da infiltração em sulcos

Houve já ocasião de referir-se que a investigação sobre modelação da rega por faixas progrediu rapidamente nos últimos anos, muito mais que a investigação correspondente em rega por sulcos. A diferença será devida à maior complexidade da superfície dos sulcos, que por um lado complica o estudo hidráulico das diferentes fases da rega e por outro dificulta a análise da infiltração, processo dominante da rega por escoamento.

De facto, repare-se que a superfície do sulco não é horizontal, como é a das faixas, e que a água de infiltração a atravessa não só verticalmente de cima para baixo mas também lateralmente. Esta é uma diferença muito grande entre a infiltração em sulcos e a infiltração em parcelas de rega como as faixas ou os canteiros. Junta-se-lhe entretanto outra diferença considerável, que é o facto de o volume infiltrado em certo tempo depender da profundidade da toalha de água nos sulcos, ou melhor, do perímetro molhado, que é de certa forma a medida da superfície efectivamente infiltrante.

A maior parte dos autores tem atendido à primeira diferença, procurando que os dados de base e as equações que descrevem o fenómeno sejam específicos dos sulcos. Em geral não se aceita, por exemplo, que dados obtidos em testes de infiltração em anel, simples ou duplo, bem como as equações deles obtidas, tenham qualquer representatividade da infiltração em sulcos. Para que a tenham, os dados serão obtidos em infiltrómetros de sulco ou nos próprios sulcos de rega.

Já a segunda diferença, relacionada com a geometria da secção transversal do sulco, tem sido menos atendida. Aliás, tal dependência

tem sido apenas referida. Só muito recentemente surgiram trabalhos que procuram quantificar o papel do perímetro molhado ou de outra dimensão da secção transversal como variável independente do processo de infiltração em sulcos (Strelkoff e Souza, 1984; Fok e Chiang, 1984; Samani et al., 1985)

1.2.2. Infiltrómetros de sulco

A especificidade do condicionalismo da infiltração em sulcos levou a que o processo tenha sido estudado em infiltrómetros próprios, que procuram reproduzir as condições da infiltração em rega por sulcos. O mais antigo e mais usado é o "infiltrómetro de sulco bloqueado", no qual a água estagna com dado nível constante. Vários autores têm achado que tais condições se afastam muito das prevaescentes durante a rega. Por isso surgiu o "infiltrómetro de sulco com retorno" (Walker e Skogerboe, 1982; Malano, 1982), no qual a água circula com caudal e velocidade semelhantes aos que poderão verificar-se na rega, entendendo-se que assim se simulam de modo mais perfeito as condições de rega.

É de referir ainda que vários autores têm desenvolvido métodos que, usando modelos matemáticos e dados de avanço de regas, conduzem à determinação de equações da infiltração em sulcos. Obtidas por estes processos, elas poderão ser capazes de representar a infiltração em sulcos com rigor maior que as equações obtidas dos infiltrómetros. Se bem que não possam ser usados nomeadamente na fase de projecto, enquanto não há dados de regas, esses métodos não deixam de ser importantes, quer para a investigação, quer para a prática da rega.

1.2.3. Equações da infiltração

A generalidade dos autores que têm estudado a rega de superfície, nomeadamente através da modelação matemática do respectivo escoamento, tem descrito as características de infiltração do solo através de uma ou mais equações de determinado tipo, de base mais empírica que analítica. A fiabilidade de tais equações é frequentemente avaliada pelos resultados do seu uso em modelos da rega: a equação será boa se, incorporada num modelo do escoamento, os parâmetros calculados forem semelhantes aos valores verificados experimentalmente, nomeadamente no que se refere a tempos de avanço e de recessão.

Esta generalizada tendência para obter empiricamente as equações da infiltração em rega de superfície dever-se-á certamente à dificuldade de considerar e quantificar todos os parâmetros determinantes para um modelo analítico do fenómeno. Por outro lado, é relativamente fácil obter séries de dados medidos de volumes infiltrados e dos respectivos tempos. Assim, a obtenção empírica dos parâmetros das equações surge como a mais fácil e adequada.

A equação mais simples e das mais usadas em rega de superfície foi proposta por Kostiaikov (1932):

$$I = kt^a \quad (1.32)$$

onde I é o volume (ou altura) da água infiltrada no tempo t , k e a são parâmetros empíricos. O principal inconveniente que se tem apontado a esta equação é o facto de na sua forma derivada

$$i = a k t^{a-1} \quad (1.33)$$

ser assintótica ao eixo dos tempos, tendendo a infiltrabilidade i para zero à medida que o tempo tende para infinito. Ora a maior parte dos solos apresenta, depois de algum tempo de infiltração, tendência para estabilizar a infiltrabilidade num valor constante, o

qual é geralmente atingido bastante antes do fim duma rega de superfície. Por isso, alguns autores (Elliott e Walker, 1982) preferem usar uma equação de Kostiakov modificada, também conhecida por equação de Lewis ou de Kostiakov-Lewis

$$I = k.t^a + i_f.t \quad (1.34)$$

onde, para além dos termos da equação (1.32), aparece a constante i_f , que é a infiltrabilidade final (estabilizada).

Com forma semelhante à de Lewis, há a equação de Philip (1957):

$$I = S.t^{1/2} + C.t \quad (1.35)$$

onde I e t têm os significados já encontrados, S é uma constante característica do solo que Philip designou por "sorptivity". Mello (1984) propõe a tradução de "sorptivity" para "sorvidade". Este parâmetro traduzirá a influência conjunta do potencial matricial e da condutividade hidráulica. A equação (1.35) é de facto constituída pelos dois primeiros termos do desenvolvimento em série que Philip (1957, 1969) fez da equação de Richards. De acordo com tal análise, o parâmetro C seria igual à condutividade hidráulica do solo em saturação. Vários autores - Skaags et al (1980); Blair e Reddell (1983); Walker e Skogerboe (1982) - notaram que a obtenção da equação (1.35) por regressão tende a fazer $C = i_f$. A equação de Philip é então mais semelhante à de Lewis, com a diferença de que nesta o expoente de t não é fixado.

Convém no entanto salientar o carácter de certo modo pouco consistente do valor calculado de i_f . De facto, não é fácil definir, para cada teste de infiltração, em que momento a taxa se encontra já estabilizada. Depois, o seu cálculo também oferece algumas dúvidas e dificuldades, sobretudo quando se processa o cálculo automático em computador. Elliott e Walker (1982) tentaram sem sucesso satisfatório três processos de calcular i_f e acabaram por preferir um quarto processo, utilizável apenas se se dispuser de dados de

caudal e de tempos de avanço de regas. Consiste na realização dum balanço entrada-saída, numa fase tardia da rega, quando se pode admitir que a estabilidade do escoamento foi atingida; será então

$$i_f = \frac{q_{in} - q_{out}}{L} \quad (1.36)$$

onde q_{in} e q_{out} são os caudais medidos respectivamente à entrada e à saída de um troço de sulco de comprimento L (eventualmente o sulco todo).

A equação de Horton (1939), que inclui um termo exponencial é:

$$I = i_f.t + \frac{i_0 - i_f}{\epsilon} (1 - e^{-t}) \quad (1.37)$$

onde i_0 é a capacidade de infiltração inicial do solo (quando $t = 0$), ϵ é um parâmetro do solo que representa a taxa de decréscimo da taxa de infiltração. Adiante se verá que uma tentativa de usar esta equação para a infiltração em sulcos parece indicar que ela não é adequada a esse fim.

Finalmente, refira-se a equação proposta pelo Soil Conservation Service dos U.E.A. (1979):

$$I = k.t^a + C \quad (1.38)$$

onde as letras, excepto a constante C , têm os significados já definidos para as equações anteriores. Note-se desde já que a derivada desta equação é igual à da de Kostiaikov, portanto com o defeito que atrás se apontou. A constante C pretende aqui representar o volume que, no início do processo de infiltração, praticamente com $t = 0$, se infiltra rapidamente para preencher as fendas e alguns macroporos do solo. No citado trabalho do SCS (1979) à constante C é arbitrado um valor fixo para qualquer solo, sendo $C = 7$ quando for t expresso em minutos e I em mm (ou l/m de sulco). Os solos são repartidos por "famílias de infiltração", a cada uma das

quais corresponde um valor tabelado dos parâmetros k e a . É evidente o excesso de simplificação, mas os técnicos do SCS têm usado com sucesso as "famílias de infiltração" no projecto de inúmeros sistemas de rega de superfície. Por outro lado, sem recorrer à excessiva simplificação das "famílias de infiltração", a equação (1.38) tem sido usada em pé de igualdade com outras já descritas. Blair e Reddell (1983) comparam-na com a de Philip (1.35), a de Kostiakov (1.32) e a de Lewis (1.34) e concluem que a equação do SCS representa melhor que as outras, embora sem diferenças muito significativas, o processo de infiltração em sulcos em vários solos estudados; no referido estudo, a equação menos ajustada foi a de Philip.

1.2.4. Dependência infiltração - dimensões da secção transversal

Já se teve ocasião de salientar que, embora um bom número de autores refira a dependência que as características de infiltração em sulcos terão relativamente a dimensões da secção transversal, nomeadamente à altura da água no sulco e ao perímetro molhado, a maior parte não analisa tal dependência, por certo em virtude da exigência de observações de campo que tal análise requer. Então, em geral as equações estabelecidas referem-se às "condições médias" numa rega em sulcos.

Elliott e Walker (1982) por exemplo, referem muito explicitamente a insuficiência do procedimento que seguem, a qual não se deve apenas à não consideração da geometria da secção transversal: "Os problemas de variabilidade temporal e espacial continuam a ser obstáculos à capacidade de simular o comportamento da rega por sulcos com elevado grau de confiança e, além do mais, atingir consistentemente níveis de eficiência de rega obteníveis com a rega por aspersão ou por gotas". E mais adiante: "Os testes com infiltrómetros de sulco bloqueado e de cilindro nunca facultaram resultados satisfatórios para a rega por sulcos". Porém, na

sequência desta introdução, os mesmos autores desenvolvem um método de aplicação do balanço volumétrico, de que obtêm a equação de infiltração (Kostiakov modificada), considerando uma "secção transversal média" dos sulcos.

O primeiro trabalho, de que se tem conhecimento, que tentou a análise do efeito do perímetro molhado sobre a infiltração (volume acumulado e taxa) é o de Fangmeier e Ramsey (1978). Porém, tal análise é neste trabalho um tanto secundária, já que os autores o que fundamentalmente pretenderam foi, por um lado, a comparação de métodos para obtenção das equações de infiltração, por outro comparar entre si as próprias equações obtidas (Philip e Kostiakov). Complementarmente, verificaram que "os volumes infiltrados dependem linearmente do perímetro molhado".

Fok e Chiang (1984) propõem um modelo matemático de infiltração em sulcos baseado numa análise teórica a nível da secção transversal e num modelo físico de laboratório. O modelo considera como variáveis independentes a profundidade e a largura do sulco, entre outras; o sulco modelo é rectangular. Trata-se de uma abordagem que parece pretender sobretudo perspectivar possibilidades de investigação neste domínio. Os autores concluem que "não há uma equação geral para a infiltração em sulcos, porque a secção transversal pode tomar muitas formas". No estudo, usou-se a secção rectangular "para explicar o procedimento de entrar em linha de conta com duas dimensões ..."

O tratamento deste assunto, dependência da infiltração em relação às dimensões da secção transversal, que parece mais promissor quanto à sua utilização nos modelos matemáticos da rega por sulcos, é o de Strelkoff e Souza (1984). Estes autores tomam como base a equação de Kostiakov (1.32) e a variação linear da infiltração com o perímetro molhado verificada por Fangmeier e Ramsey (1978) e assumida pelo SCS (1979).

Assim, designando por Z o volume infiltrado por unidade de superfície, ter-se-á o volume I infiltrado por unidade de

comprimento de sulco, função do tempo de infiltração t e da altura y :

$$I(t, y) = \int_{l_e}^{l_d} Z \cdot dPM \quad (1.39)$$

onde PM é a variável perímetro molhado, que varia entre os limites l_e e l_d (fig. 1.4). Z é a altura infiltrada (volume/superfície)

$$Z = k t_p^a \quad (1.40)$$

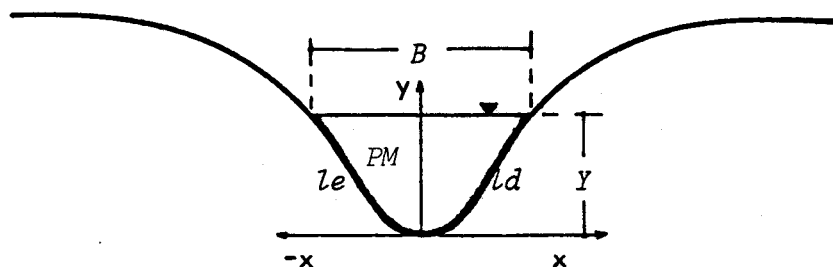


Fig. 1.4 - Dimensões da secção transversal de um sulco.

em função do tempo de infiltração t_p , que por sua vez depende da posição da unidade de superfície em relação ao talvegue do sulco.

Se se chamar w ao espaçamento entre sulcos, corresponderá ao volume infiltrado por unidade de comprimento I (1.39) o volume infiltrado por unidade de superfície total do solo (dotação),

$$I = \frac{1}{w} \cdot \int_w Z \cdot dPM = \frac{1}{w} \cdot \int_w k \cdot t_p^a \cdot dPM \quad (1.41)$$

Esta equação, que seria a representação mais completa da

infiltração em sulcos, exige porém que se conheça a função $t_p = t_p(PM, t)$, o que não é fácil. Por isso os autores experimentaram cinco aproximações à equação (1.39), das quais se transcreve apenas a primeira

$$I = k.t^a.PM(y) \quad (1.42)$$

que se baseia na hipótese de que há valores k e a que, conjugados com o perímetro molhado como indica a fórmula, para cada estação e cada valor de y , representam adequadamente o volume infiltrado por metro de sulco. As outras quatro aproximações consideram, em vez de PM , a largura superficial do escoamento, a altura de água medida na cabeceira do sulco ou a calculada como correspondente ao módulo parcelar.

O teste de cada uma das equações foi feito por comparação dos dados de regas obtidas no trabalho que já se referiu de Fangmeier e Ramsey (1978), com resultados equivalentes obtidos em computador e entrando com cada uma das equações no modelo de inércia nula (Souza, 1981). Escolhidos os valores de k e a (e ainda de n , coeficiente de rugosidade de Manning), Strelkoff e Souza (1984) concluíram que a melhor aproximação aos valores medidos se obtém com a equação (1.42) e a correlação mais pobre é conseguida quando se inclui a largura superficial B .

Refira-se por fim o trabalho de Samani et al. (1985), que contém essencialmente uma modelação teórica, que é uma análise a duas dimensões do processo de infiltração em sulcos. Os autores começam por justificar o seu trabalho pelo facto de que "A baixa uniformidade da rega por sulcos se deve não só a que para jusante o tempo de infiltração vai sendo menor, mas também porque vai sendo menor a profundidade da água". E, entre as conclusões, avulta uma coerente com a já observada por outros autores: "A taxa de infiltração e o volume infiltrado variam quase linearmente com o perímetro molhado".

1.2.5. Métodos estatísticos para obter as equações da infiltração

Muitos autores têm caracterizado o processo de infiltração em sulcos mediante equações obtidas por regressão de pares de dados medidos no campo (volume infiltrado, tempo de infiltração). Alguns autores tomam mesmo os métodos de regressão como objecto do seu estudo. É o caso de Blair e Reddell (1983), cuja preocupação dominante é comparar entre si, não só as equações obtidas, mas sobretudo os métodos de as obter: regressões pelo método ordinário dos mínimos quadrados, método semelhante mas com os dados ponderados e por fim o método que os autores designam de "optimização exacta".

Os autores utilizam, como critérios de avaliação de cada um dos métodos, a média dos erros absolutos

$$MEA = \frac{\sum_{i=1}^N |Z_{i,calc} - Z_{i,obs}|}{N} \quad (1.43)$$

e a raiz quadrada do quadrado médio dos erros

$$RQE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Z_{i,calc} - Z_{i,obs})^2}{N}} \quad (1.44)$$

onde $Z_{i,calc}$ e $Z_{i,obs}$ são os volumes infiltrados respectivamente calculados e medidos e N é o número de observações. O coeficiente de correlação ou o coeficiente de determinação são para este efeito pouco úteis, pois assumem quase sempre valores muito elevados, frequentemente superiores a 0.99, não mostrando diferenças que podem existir entre duas equações cujos coeficientes de determinação sejam igualmente altos.

O método de "optimização exacta" baseia-se na pesquisa

iterativa de um valor mínimo para RQE (ou para MEA) e também no chamado "método dos dois pontos", apresentado por Elliott e Walker (1982) e utilizado também por Malano (1982) e que vale a pena ser descrito primeiro. Consiste em admitir que a curva a obter passa por dois pontos (I_1, t_1) e (I_2, t_2) isto é, a equação a obter é verificada exactamente por dois dos pares de valores experimentais. Os referidos autores fixavam o primeiro ponto a cerca de 30 minutos do tempo de infiltração e o segundo ponto no fim do teste, por terem verificado na prática que na maioria dos casos isso os conduzia aos melhores resultados. Então, se a equação a obter for do tipo de Kostiakov (1.32), no primeiro ponto será

$$I_1 = k t_1^a \quad (1.45)$$

e no segundo ponto

$$I_2 = k t_2^a \quad (1.46)$$

Dividindo (1.45) por (1.46), ter-se-á sucessivamente:

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{t_1}{t_2} \right)^a \quad (1.47)$$

$$\log \frac{I_1}{I_2} = a \log \frac{t_1}{t_2} \quad (1.48)$$

$$a = \frac{\log I_1 - \log I_2}{\log t_1 - \log t_2} \quad (1.49)$$

$$k = \frac{I_1}{t_1^a} = \frac{I_2}{t_2^a} \quad (1.50)$$

No método de optimização exacta não se fixam os dois pontos. Em vez disso combinam-se os pontos experimentais dois a dois e

calcula-se o respectivo MEA ou RQE para escolher a combinação que o minimize. Se forem N os pares (volume, tempo) experimentais, serão feitos $N(N-1)/2$ iterações, cada uma calculando o somatório de N desvios e resolvendo (1.43) ou (1.44).

É claro que a preparação da equação de Lewis (1.34) para determinação pelo mesmo método será feita de modo semelhante ao descrito acima (equações 1.45 a 1.50), uma vez que se tenha já obtido a taxa de infiltração final i_f por qualquer dos processos já referidos. Basta reparar que será então

$$I_1 - i_f \cdot t_1 = k \cdot t_1^a \quad (1.51)$$

e

$$I_2 - i_f \cdot t_2 = k \cdot t_2^a \quad (1.52)$$

De modo semelhante se pode preparar a equação de Philip (1.35):

$$I_1 = S t_1^{0.5} + C t_1 \quad (1.53)$$

$$I_2 = S t_2^{0.5} + C t_2 \quad (1.54)$$

de onde

$$I_1 - S t_1^{0.5} = C t_1 \quad (1.55)$$

$$I_2 - S t_2^{0.5} = C t_2 \quad (1.56)$$

Dividindo (1.55) por (1.56) vem sucessivamente

$$\frac{I_1 - S t_1^{0.5}}{I_2 - S t_2^{0.5}} = \frac{t_1}{t_2} \quad (1.57)$$

$$I_1 t_2 - S t_1^{0.5} t_2 = I_2 t_1 - S t_2^{0.5} t_1 \quad (1.58)$$

$$I_1 t_2 - I_2 t_1 = S (t_1^{0.5} t_2 - t_2^{0.5} t_1) \quad (1.59)$$

$$S = \frac{I_1 t_2 - I_2 t_1}{t_1^{0.5} t_2 - t_2^{0.5} t_1} \quad (1.60)$$

$$C = \frac{I_1 - S t_1^{0.5}}{t_1} = \frac{I_2 - S t_2^{0.5}}{t_2} \quad (1.61)$$

Jaynes (1987) comparou os resultados da aplicação de cada um dos três métodos - dos mínimos quadrados, dos dois pontos e de otimização iterativa - à regressão para equações-potências dos tipo (1.2). Os dados trabalhados foram de avanço das regas e de volumes infiltrados em infiltrômetros de sulco. Os ajustamentos verificados foram, para os dados das regas melhores no método de otimização iterativa, seguido do dois pontos. Para os dados de infiltrômetros, também o método de otimização iterativo foi o que conduziu aos melhores ajustamentos, mas seguido do dos mínimos quadrados.

1.2.6. Obtenção das equações da infiltração por modelação teórica

Fok e Chiang (1984) modelam o processo de infiltração em sulcos situando-se, no seu próprio dizer, "na linha de tratamento analítico da infiltração seguida por autores como Philip (1958), Haise (1948), Hillel (1970), etc.". Os autores construíram um modelo

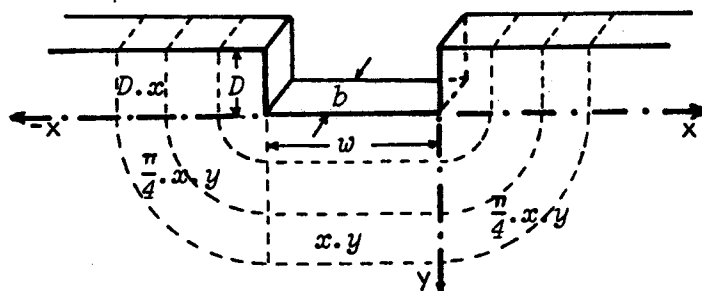


Fig. 1.5 - Modelo físico de infiltração em sulco de Fok e Chiang (1984)

físico de laboratório (fig. 1.5), com sulco rectangular, para nele medirem a infiltração, comparando posteriormente os resultados com os calculados pelo modelo matemático. As equações de base deste são, para a dimensão vertical

$$\frac{y}{H} - \log \left(1 + \frac{y}{H} \right) = \frac{k.t}{v.u.H.} \quad (1.62)$$

e, na dimensão horizontal,

$$x = \left(\frac{2K.H_x}{v.u} \right)^{0.5} . t^{0.5} \quad (1.63)$$

onde as grandezas que não estão discriminadas na fig. 1.5 são: K = condutividade hidráulica do solo em saturação, a mesma em qualquer direcção; H = potencial hidráulico na frente de humedecimento (matricial mais gravitacional); H_x = potencial hidráulico na direcção horizontal (matricial, por a componente gravitacional ser nula); v = porosidade do solo; u = grau de saturação da zona de transmissão (ou melhor: diferença entre os graus de saturação depois, u_1 , e antes, u_0 , do humedecimento: $u = u_1 - u_0$). Estas equações de base já tinham sido deduzidas em trabalho anterior (Fok et al., 1982), mas no presente trabalho os autores estabelecem a

equação que permite calcular o volume infiltrado I no tempo t e no comprimento b de sulco:

$$I = (2 Dx + wy + \frac{\pi}{2} xy) b.v.u \quad (1.64)$$

Outro contributo é o de Samani et al. (1985), que fizeram a modelação teórica do processo de infiltração a duas dimensões numa secção irregular de sulco com profundidade de água variável. O modelo proposto é neste caso exclusivamente matemático, sendo a preocupação dominante dos autores descrever as técnicas de cálculo numérico usadas. Uma das pretensões é descrever a infiltração em processo, quer contínuo, quer intermitente ("surge flow").

Em Portugal, um trabalho recente de Tabuada (1986) fez também a modelação bidimensional da infiltração, propondo um procedimento para a resolução numérica da equação de Richards, aplicada ao caso dos sulcos, sendo trapezoidal a secção transversal do modelo considerado. Também em português, o trabalho de Santos Júnior (1971), não tratando especificamente da infiltração, faz a dedução analítica da equação dinâmica do movimento da água no solo, que é basilar para a modelação matemática da infiltração.

1.2.7. Obtenção das equações da infiltração a partir de dados das regas

Provavelmente, este será o processo mais seguro de obter as equações da infiltração, já que parte de onde se pretende chegar: os tempos de avanço (em alguns casos também de recessão) das regas. É claro que aí reside também a principal desvantagem do processo, que não pode ser usado na fase de projecto, quando é especialmente útil dispor de um modelo de previsão da infiltração. Porém, o projecto pode basear-se em equações menos rigorosas, obtidas por algum processo aproximado (infiltrómetros ou apenas por semelhança com

condições conhecidas). A primeira rega terá então qualidades reduzidas, mas fornecerá os dados que, trabalhados por um dos métodos que a seguir se referem, permitirão obter equações da infiltração adequadas. Estas, introduzidas por sua vez em processo próprio de cálculo, conduzirão a mais adequados parâmetros (módulos e tempos de admissão), de que poderá resultar finalmente a otimização das qualidades das regas.

Elliott e Eisenhauer (1983) fizeram um resumo das técnicas até então praticadas com uso de diferentes aproximações ao modelo de balanço volumétrico, para as comparar entre si. Os modelos de balanço volumétrico são os mais simples e os mais usados com este fim, mas os mesmos autores citam Smith (1972) como tendo já usado uma aproximação ao modelo de onda cinemática; também o de inércia nula foi mais recentemente usado, como se descreverá adiante. Por enquanto, importa descrever duas das técnicas de balanço volumétrico que parecem mais interessantes.

1.2.7.1. Método de Elliott e Walker

Elliott e Walker (1982) procuram a equação de Kostikov modificada (1.34) e salientam que sempre que nela fizeram $i_f = 0$, passando para a de Kostikov (1.32), o volume infiltrado foi subestimado. A fase de avanço da rega é descrita por uma equação de forma potencial

$$x = p t_x^r \quad (1.65)$$

onde x é a distância de cada estação a partir da cabeceira do sulco, t_x o tempo que a água demora a atingir a mesma estação (tempo de avanço) e p e r parâmetros empíricos que se obtêm pelo citado "método dos dois pontos" ou por "otimização exacta". O valor de i_f é calculado pelo balanço entrada-saída também já descrito (equação 1.36).

Então, o procedimento a seguir para calcular os parâmetros da equação de Kostiakov modificada é a realização de um balanço volumétrico relativamente a duas estações de controlo, que Elliott e Walker (1982) referem como desenvolvimento de uma técnica apresentada por Christiansen et al. (1966). Segundo esta, será

$$I = \frac{f}{a+1} k t^a + \frac{i_f \cdot t}{r+1} \quad (1.66)$$

onde: D_a = volume infiltrado médio, por unidade de comprimento, no tempo, t ; r = expoente na equação de avanço (1.94); f = factor de correcção

$$f = \frac{a + r - ar + 1}{r + 1} \quad (1.67)$$

Mas I pode também expressar-se como termo de um balanço volumétrico

$$I = \frac{V_a - A_s \cdot x}{x} \quad (1.68)$$

onde V_a é o volume introduzido no sulco, ou volume de alimentação ($V_a = Q \cdot t$), \bar{A} a área média da secção transversal molhada ao longo do comprimento percorrido x . Reunindo (1.66) e (1.68) vem:

$$\frac{V_a}{x} - \bar{A} = \frac{f}{a+1} k t^a + \frac{i_f \cdot t}{r+1} \quad (1.69)$$

Uma vez que i_f e r já são conhecidos, k e a podem encontrar-se por resolução da equação (1.69) para duas estações, por exemplo a última, onde é $x = L$ (sendo L o comprimento do sulco), e a situada a meio do sulco, com $x = L/2$, vindo duas equações simultâneas

$$\frac{V_L}{L} - A_L = \frac{f}{a+1} A_L \cdot t_L^a + \frac{i_f \cdot t_L}{r+1} \quad (1.70)$$

e

$$\frac{V_{L/2}}{L/2} - A_{L/2} = \frac{f}{a+1} A_{L/2} t_{L/2}^a + \frac{i_f \cdot t_{L/2}}{r+1} \quad (1.71)$$

onde L e L/2 em índice indicam os valores das variáveis relativamente às estações situadas em $x = L$ e em $x = L/2$, respectivamente.

A resolução das equações (1.70) e (1.71), se se fizer

$$\alpha = \frac{V_L}{L} - A_L - \frac{i_f t_L}{r+1} \quad (1.72)$$

e

$$\beta = \frac{V_{L/2}}{L/2} - A_{L/2} - \frac{i_f \cdot t_{L/2}}{r+1} \quad (1.73)$$

conduz a:

$$a = \frac{\log \frac{\alpha}{\beta}}{\log \frac{t_L}{t_{L/2}}} \quad \text{e} \quad K = \frac{(a+1)}{f t_L^a} \quad (1.74)$$

Repare-se que nas equações (1.70) e (1.71) figuram as áreas A_L e $A_{L/2}$ médias da secção transversal molhada ao longo dos comprimentos respeitantes a L e L/2. Se tais áreas não tiverem sido medidas, é preciso estimá-las, o que muitos autores, nomeadamente Elliott e Walker (1982) fazem admitindo que a área média \bar{A} da secção transversal é constante e se relaciona com a área da secção transversal normal A_0 , isto é, a área molhada na secção de cabeceira, onde o caudal é o introduzido no sulco (módulo parcelar), por

$$\bar{A} = \sigma_y \cdot A_0 \quad (1.75)$$

com $0.75 < \sigma_y < 0.80$, fazendo-se usualmente $\sigma_y = 0.77$.

1.2.7.2. Método de Burt et al.

A outra técnica de balanço volumétrico que se descreve é a de Burt et al. (1982), que obtém a equação de Kostiakov (1.37) e admite que a fase de avanço é descrita pela equação (SCS, 1979)

$$t_x = \frac{x}{f} e^{gs} \quad (1.76)$$

onde f e g são parâmetros empíricos, t_x é o tempo de avanço para o comprimento x e e é a base dos logaritmos naturais.

A equação fundamental do balanço volumétrico é neste caso

$$V_a - \bar{A} \cdot x = \int_0^x k \left(t_x - \frac{s}{f} e^{gs} \right)^a \cdot ds \quad (1.77)$$

que se resolve também para duas secções $x = L$ e $x = L/2$:

$$\frac{V_{L/2} - A_{L/2} \cdot L/2}{V_L - A_L L} = \frac{\int_0^{L/2} \left(t_{L/2} - \frac{s}{f} e^{gs} \right)^a \cdot ds}{\int_0^L \left(t_L - \frac{s}{f} e^{gs} \right)^a \cdot ds} \quad (1.78)$$

onde a única incógnita é a e que se resolve por tentativas. Depois k é obtido por

$$k = \frac{V_L - A_L L}{\int_0^L \left(t_L - \frac{s}{f} e^{gs} \right)^a \cdot ds} \quad (1.79)$$

1.2.7.3. Método das curvas dimensionais de Elliott et al.

Refira-se finalmente o trabalho de Elliott, Walker e Skogerboe (1983 a,b) que usam um modelo de inércia nula para obterem os parâmetros da equação de Kostikov modificada (1.34), como muito resumidamente se descreve em seguida. A geometria da secção transversal dos sulcos, considerada invariável com o tempo e a distância ao longo do sulco, é traduzida por equações potenciais

$$y = \sigma_1 \cdot A^{\sigma_2} \quad \text{e} \quad A^2 \cdot R^{4/3} = \rho_1 \cdot A^{\rho_2} \quad (1.80)$$

sendo y a profundidade da água no sulco, A a área da secção transversal molhada correspondente, R o raio hidráulico e σ_1 , σ_2 , ρ_1 e ρ_2 parâmetros empíricos, donde resulta, para S_f na equação (1.21) da conservação da energia, o valor

$$S_f = \frac{Q^2 n^2}{d A^f} \quad (1.81)$$

A equação de Kostikov modificada é introduzida na equação (1.12) da conservação da massa

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + a k t^{a-1} + i_f = 0 \quad (1.82)$$

Os termos das equações de Saint-Venant assim transformadas são agora divididos por dimensões características, resultando termos adimensionais.

Com esta transformação, os parâmetros nas equações do escoamento ficam reduzidos a cinco: k , a e i_f da equação de infiltração, σ_2 e ρ_2 da geometria. Os dois últimos podem ser determinados empiricamente; em todo o caso, os autores verificaram que têm influência desprezável sobre o avanço. Remanescem os três parâmetros relativos à infiltração, com os quais Elliott et al.

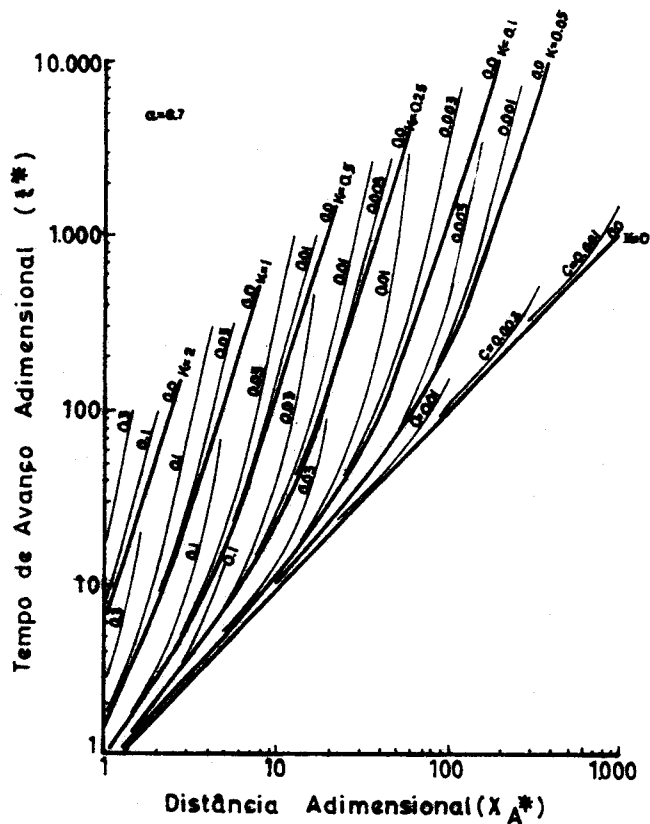


Fig. 1.6 - Família de curvas adimensionais de Elliott et al. (1983 b)

(1983 b) elaboraram famílias de curvas, de que é exemplo a reproduzida na fig. 1.6.

Estas curvas podem ser usadas nos dois sentidos: estimar o avanço partindo dos parâmetros da infiltração ou deduzir estes partindo de dados de avanço.

CAPÍTULO 2

APROXIMAÇÃO EXPERIMENTAL

Descreveu-se neste capítulo os materiais e métodos usados na experimentação em que se apoia a presente dissertação. Em alguns pontos, porém, vai-se além da descrição das experiências e dos materiais, obtendo-se e apontando-se resultados. São os casos da caracterização hidropedológica do campo de ensaios, do estudo da geometria da secção transversal e da rugosidade de Manning, com resultados a que não se quis dar destaque de capítulo próprio, que se reservou para os estudos da infiltração em sulcos. São porém resultados importantes, que se utilizam logo nos capítulos seguintes.

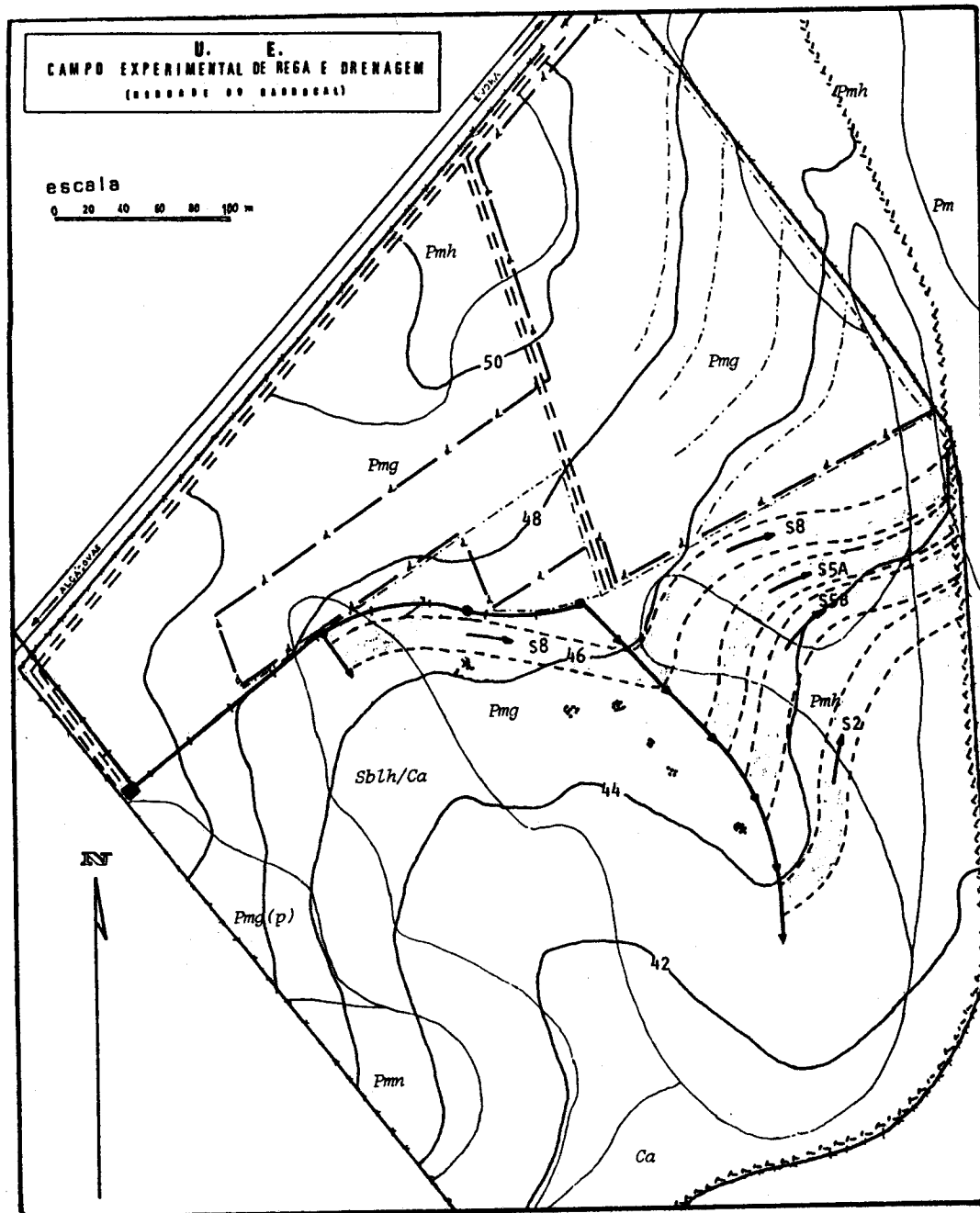
Com o carácter descritivo que habitualmente se dá a um capítulo de "materiais e métodos", são apresentados os ensaios cujos resultados são objecto dos capítulos seguintes: de infiltração com infiltrómetros e de rega.

2.1. CARACTERIZAÇÃO HIDROPEDOLÓGICA DO CAMPO DE ENSAIO

A experimentação de campo, da qual se obteve a informação que sustenta a presente dissertação, foi conduzida no Campo Experimental de Rega e Drenagem, que a Divisão de Engenharia da U. E. organizou e dirige na Herdade do Barrocal. Os ensaios de rega por sulcos ocuparam cerca de 3 ha daquele campo, propositadamente equipados em 1984 e 1985.

Os solos do campo tinham anteriormente sido cartografados na escala 1/5000, até ao nível da fase, para um estudo do Projecto de Drenagem e Conservação do Solo no Alentejo (Tangarrinha, 1979). Dominam os solos Argiluvitados Pouco Insaturados. A série Pmg é a mais representada, encontrando-se também Pmh, Pm e ainda Sb e Ca (fig. 2.1). O relevo é ondulado suave, com alguma pedregosidade e até afloramentos rochosos. Vê-se assim que o campo representa bastante bem as condições largamente dominantes no Alentejo, talvez não as que normalmente seriam consideradas melhores para o regadio, mas que exactamente por isso interessaram especialmente. Mello e Lúcio (1985) também estudaram este solo.

As parcelas experimentais foram implantadas sobre a mancha dominante de Pmg. Porém, para os sulcos terem comprimento de 200 m e de 300 m, atravessavam uma mancha de Pmh. Por ser a série dominante no ensaio, o que provavelmente corresponderá a largas situações no Alentejo, procurou-se caracterizar, do ponto de vista hidropedológico, a série Pmg utilizada. Tal caracterização foi objecto de um trabalho de estágio de licenciatura de um aluno de Engenharia Agrícola da Universidade de Évora (Cruz, 1987), do qual se retiraram as curvas características humidade-tensão que se reproduzem na Fig. 2.2. No quadro 2.1 estão reunidos elementos característicos do solo Pmg.



- | | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| —●—●—●— | —●—●—●— | —●—●—●— | —●—●—●— |
| —●—●—●— | —●—●—●— | —●—●—●— | —●—●—●— |
| —●—●—●— | —●—●—●— | —●—●—●— | —●—●—●— |
| —●—●—●— | —●—●—●— | —●—●—●— | —●—●—●— |
| —●—●—●— | —●—●—●— | —●—●—●— | —●—●—●— |
| —●—●—●— | —●—●—●— | —●—●—●— | —●—●—●— |
| —●—●—●— | —●—●—●— | —●—●—●— | —●—●—●— |
| —●—●—●— | —●—●—●— | —●—●—●— | —●—●—●— |
| —●—●—●— | —●—●—●— | —●—●—●— | —●—●—●— |
| —●—●—●— | —●—●—●— | —●—●—●— | —●—●—●— |

Fig. 2.1 - Carta do campo experimental em 1985

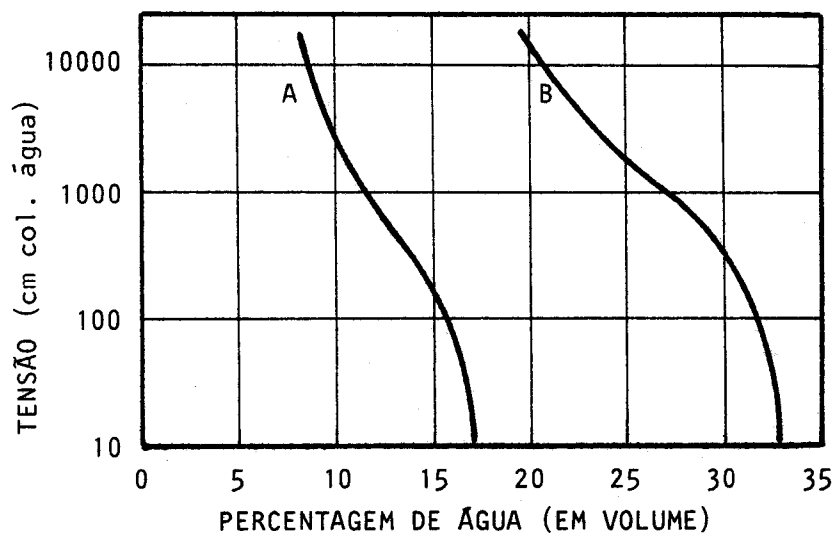


Fig. 2.2 - Curvas humidade-tensão do solo Pmg
 A - profundidade 0 a 30 cm
 B - profundidade 30 a 60 cm
 (adaptada de Cruz, 1987)

QUADRO 2.1

ALGUNS DADOS DA RETENÇÃO DE ÁGUA EM SOLOS ARGILUVIADOS

Prof. cm	dens. apar.	Teor de água (volume) a tensão (cm H ₂ O)					cap. utilizável % vol. aa	
		100	500	1000	3000	15000		
Cruz, 1987:								
0-30	1.56	15.84	12.92	11.54	10.07	8.02	7.82	23.50
30-60	1.72	31.65	29.00	-	-	20.00	11.55	34.70
Cardoso, 1965:								
0-30	1.50	13.75	11.10	-	-	3.00	10.75	32.30
30-60	1.28	23.65	-	-	-	10.38	13.27	39.80
Silva, 1971:								
0-20	1.43	24.80	16.20	-	-	8.10	16.70	33.40
20-40	1.60	28.00	19.40	-	-	13.50	14.50	29.00
40-60	1.72	26.20	18.50	-	-	12.40	13.80	27.60

Como se sabe, a característica dominante dos solos Argiluvitados é a existência do horizonte B argiluvitado, de permeabilidade muito reduzida, que domina o comportamento hidrológico destes solos. Sobre ele, o horizonte A, muito permeável, de espessura variável à roda dos 30 a 40 cm, parece ser o principal suporte da vida vegetal.

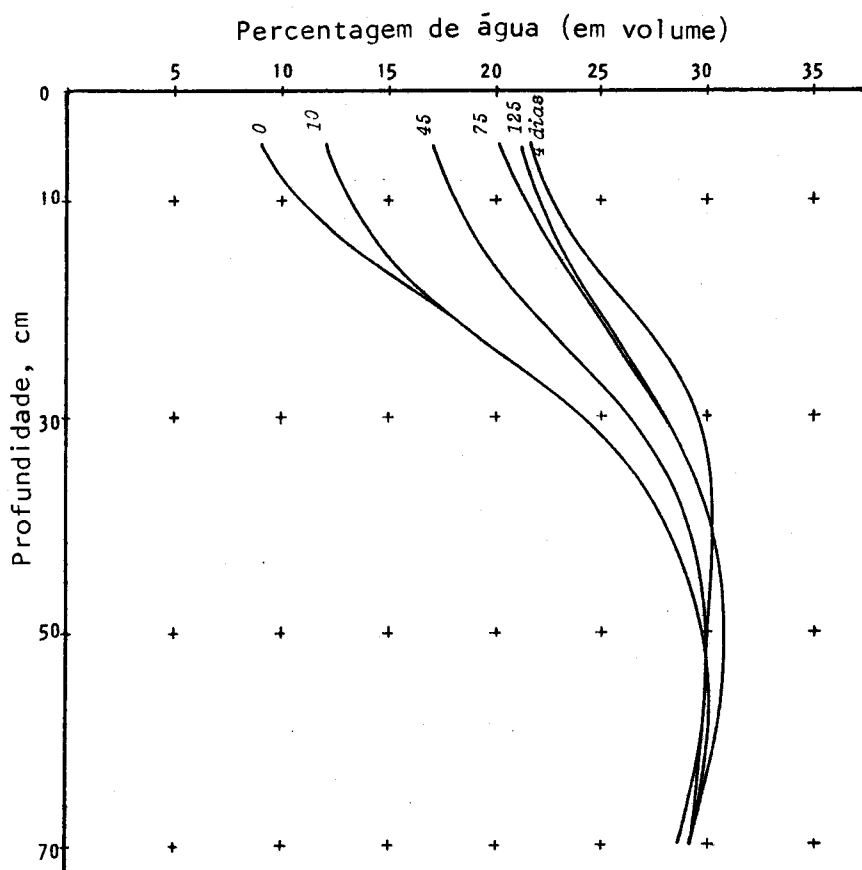


Fig. 2.3 - Desenvolvimento de perfis de humidade no solo, numa vertical situada a 20 cm do eixo do sulco (adaptada de Cruz, 1987)

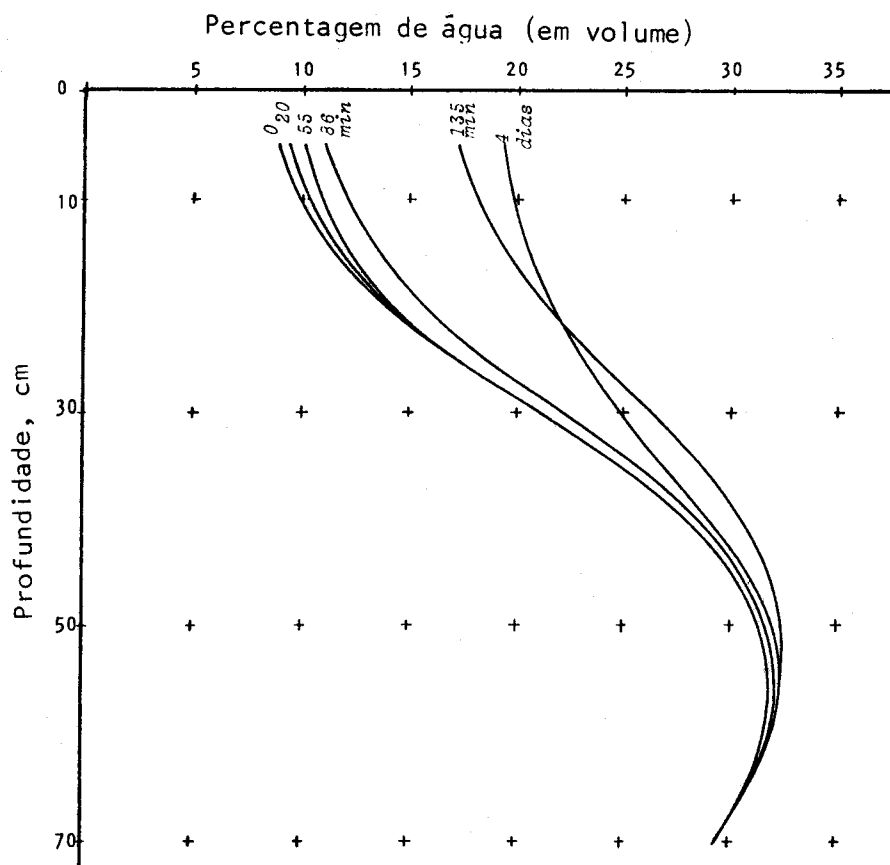


Fig. 2.4 - Desenvolvimento de perfis de umidade no solo, numa vertical situada a 35 cm do eixo do sulco (adaptada de Cruz, 1987)

Um aspecto que se apresentou com certa importância em virtude das características de infiltração próprias do solo Argiluvado, é o modo como se desenvolvem, durante e após a rega, os perfis de umidade do solo. Tentando defini-lo, instalaram-se entre os sulcos, em algumas estações principais, três tubos de acesso para o medidor neutrónico de umidade do solo. Para acompanhar a frente de humedecimento, o teor de umidade era medido em cada tubo, a quatro profundidades, em intervalos curtos após o avanço da água até à estação em causa. No dia seguinte e dois ou mais dias depois,

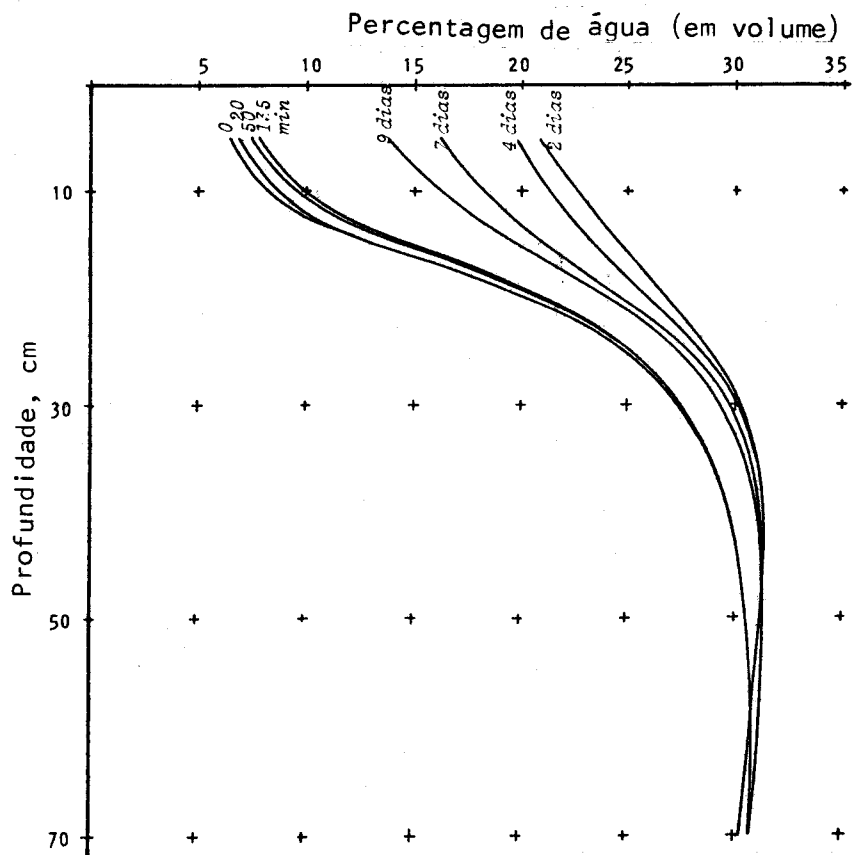


Fig. 2.5 - Desenvolvimento de perfis de humidade no solo, numa vertical situada a 75 cm do eixo do sulco (adaptada de Cruz, 1987)

repetiam-se as leituras, tentando-se assim acompanhar o movimento da água em redistribuição. As figs. 2.3 a 2.5 ilustram a forma como se desenvolveram os perfis de humidade durante a rega e a posterior redistribuição.

Esquematiza-se na Fig. 2.6 a forma de progressão da frente de humedecimento, como é sugerida pela evolução dos perfis representados nas figuras anteriores. Pretende-se com cada curva localizar aproximadamente a posição da frente de humedecimento após o tempo de infiltração (minutos) que sobre ela vai escrito. As

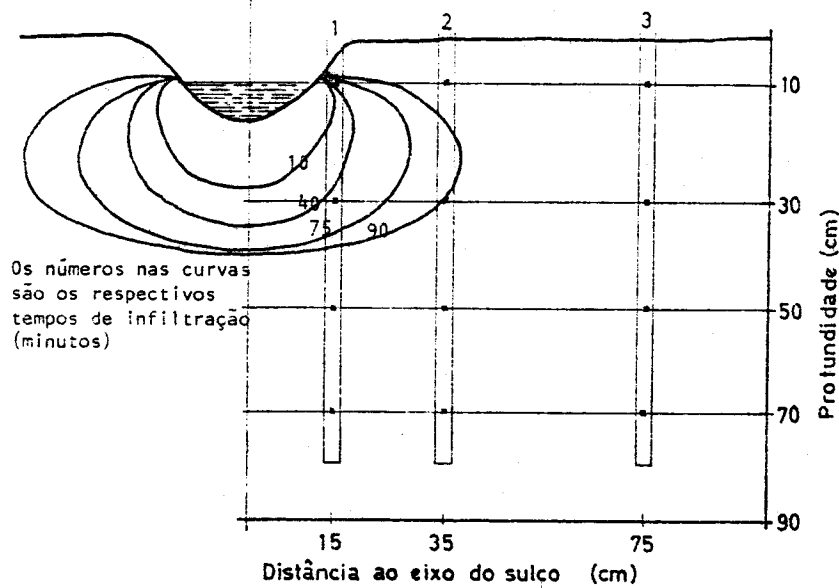


Fig. 2.6 - Esquema da determinação neutrônica dos teores de água do solo e da forma de progressão da frente de humedecimento durante a rega

leituras de humidade não foram feitas com frequência suficiente para que a frente de humedecimento se possa localizar com rigor em qualquer momento. O traçado feito permite contudo evidenciar o aspecto importante que assume a infiltração em solo Argiluviado: o rápido predomínio do movimento horizontal da água no solo.

2.2. GEOMETRIA DA SECÇÃO TRANSVERSAL DOS SULCOS

Os modelos matemáticos do escoamento requerem, como se referiu no capítulo 1, alguma informação acerca das relações geométricas entre as dimensões da secção transversal, geralmente sob a forma de equações tipo potência. O mesmo se verifica com os métodos de determinar as equações da infiltração a partir dos dados de avanço das regas. Por outro lado, o estudo da geometria da secção transversal é indispensável para o estabelecimento duma relação entre a infiltração e o perímetro molhado.

Os sulcos utilizados no trabalho de campo foram abertos por aivequilhas de 16 polegadas, montadas num cultivador. As secções resultantes tinham uns 15 a 20 cm de profundidade e 30 a 40 cm de largura de topo. A secção transversal apresentava a forma de uma parábola.

2.2.1. O perfilómetro de sulco

Chamar-se-á "perfilómetro" a qualquer dispositivo ou aparelho que sirva para medir ou de algum modo reproduzir a forma da secção transversal. A primeira descrição de um "perfilómetro" de sulco que se registou está em Walker e Skogerboe (1982) e o dispositivo descrito (que se mostra na foto 2.1, Anexo A e que está esquematizado na fig. 2.7.), foi usado por Mostafazadehfard (1982), o que se teve ocasião de acompanhar pessoalmente em 1982. Não se tem conhecimento de outros estudos sistemáticos anteriores da geometria da secção transversal dos sulcos.

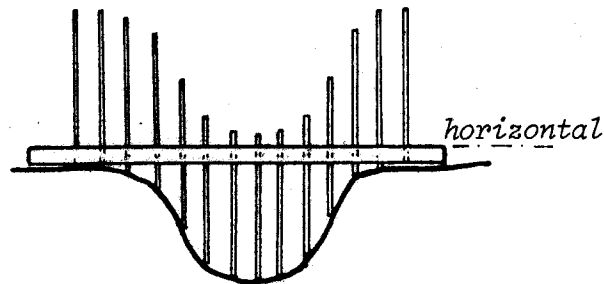


Fig. 2.7 - Perfilômetro de Walker e Skogerboe (1982)

O perfilômetro de Walker e Skogerboe é constituído por um conjunto de régua cilíndricas com uns 30 cm de comprimento e 1 cm de diâmetro que deslizam verticalmente em orifícios equidistantes 2cm, abertos num suporte de madeira que se coloca horizontalmente em estacas sobre o sulco. O suporte é de facto constituído por duas régua ligadas por dobradiça que, apertando-se uma contra a outra, fixam as régua deslizantes em qualquer posição. Se as régua tiverem deslizado até se apoiarem na superfície do sulco, a leitura em cada uma delas dá a respectiva profundidade do leito a partir da linha de referência horizontal em que se coloca o suporte.

É fácil concluir que será moroso o procedimento para representar uma secção transversal, e tal morosidade havia de repetir-se várias dezenas de vezes, num estudo como o que se empreendeu aqui. Por isso se imaginou o "perfilômetro" descrito a seguir e o qual, sendo muito mais simples e rápido que o de Walker e Skogerboe, não será menos rigoroso.

Uma secção de controlo é definida no campo por colocação, nos lados do sulco, de duas estacas cujos topos definam transversalmente

ao sulco uma linha horizontal, o que se garante por uso dum nível de pedreiro. Estas estacas permanecem no terreno ao longo de todo o ensaio, pois é em relação à linha horizontal por elas definida que se medirão em várias ocasiões as profundidades do leito, estudando-se a respectiva evolução. Para facilitar a localização e evitar danos acidentais, as estacas são pintadas de branco e uma estaca suplementar, colocada mais alta na crista do cômodo, assinala o lugar.

A forma e dimensões da secção transversal do sulco são recolhidas mediante régua flexível de desenhar curvas, a qual se molda à superfície da terra entre as estacas (fig. 2.8 e foto 2.2). Assinala-se a posição relativa à régua dos topos das estacas (para facilitar esta operação, a régua foi previamente graduada). Em seguida deita-se a régua moldada sobre uma folha de papel numa prancheta, a forma da secção recolhida é desenhada e a posição dos topos das estacas marcada, o que irá definir no papel a linha horizontal de referência (fig. 2.8).

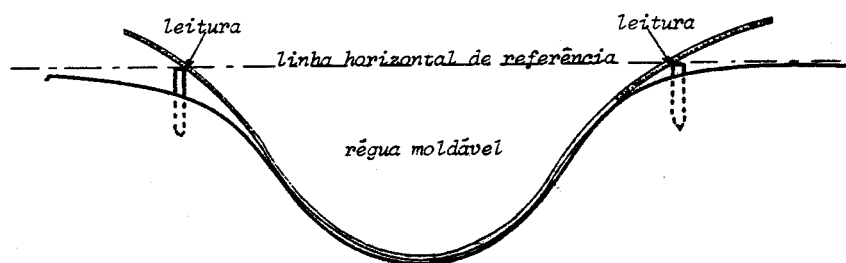


Fig. 2.8 - Perfilômetro de régua moldável

Já em gabinete, desenha-se a referida linha horizontal e marcam-se os pontos do perfil do sulco que interessam para as medições de profundidade (fig. 2.9). Posteriormente, em digitalizador ligado a um computador, cada desenho é transformado num conjunto de valores (uma matriz) da profundidade e respectivos

valores de perímetro molhado e de área de secção transversal. O digitalizador que se usou está ligado ao computador do Centro de Cálculo da U.E.

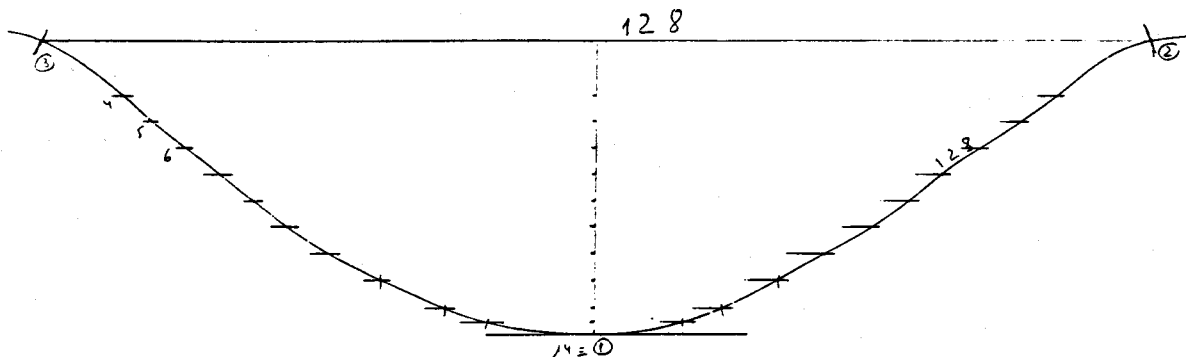


Fig. 2.9 - Desenho da secção transversal, pronto para digitalizar (escala aproximada 1/2.8)

O processo que se acabou de descrever permitiu estudar cerca de duas centenas de secções transversais dos sulcos de rega e uma centena de outras pertencentes às parcelas de estudo da infiltração. Nos sulcos de rega, as secções de controlo foram localizadas: a) junto às cabeceiras; b) a 100 m; c) a 200 m; d) a 300 m, no caso dos sulcos que tinham tal comprimento. Em cada secção de controlo, as medições foram feitas no início do ensaio, entre regas e no fim. Foi assim possível estudar a evolução da secção transversal provocada por cada uma das regas. Verificou-se que as secções colocadas a 300 m não tinham evolução notável, pelo que as respectivas medições acabaram por ser desprezadas.

O estudo revestiu essencialmente dois aspectos: 1) determinação das relações entre os parâmetros geométricos e sua tradução por equações-potência e do tipo da parábola; 2)

quantificação das alterações, como tentativa de estabelecer um método de estudo da erosividade da rega.

2.2.2. Equações-potência do perímetro e da área

Elaboraram-se programas de computação (Anexo B 2.1), em linguagem BASIC, que obtêm selectivamente, dum suporte magnético, os pares de valores digitalizados (profundidade, perímetro) ou (profundidade, área) das secções que se queiram estudar - uma a uma ou em grupo - procedendo-se em seguida à respectiva regressão, pelo método dos mínimos quadrados, para uma equação da forma

$$PM = p.y^r \quad \text{ou} \quad A = l.y^q \quad (2.1)$$

em que PM é o perímetro molhado, A a área da secção transversal, y a altura da água sobre o talvegue do sulco e p, r, l, q constantes empíricas obtidas na regressão. Assinale-se que as correlações verificadas são sempre elevadas, com coeficientes de correlação superiores a 0.99 em mais de 75% dos casos e superiores a 0.95 quase sempre.

QUADRO 2.II

EVOLUÇÃO DA SECÇÃO TRANSVERSAL EM 1984 (Quocientes dos valores médios de PM e de A)

I - inicial; P- depois da 1a. rega; S - depois da 2a. rega

	Cabeceiras		100m		200m	
	I/P	I/S	I/P	I/S	I/P	I/S
PERÍMETRO						
64 (SO = 0.004)	.939	.856	.864	.838	.915	.905
66 (SO = 0.006)	1.005	1.005	.997	.907	1.000	.883
68 (SO = 0.008)	.763	.875	.781	1.005	.903	1.053
ÁREA						
64 (SO = 0.004)	.905	.710	.778	1.093	.917	.831
66 (SO = 0.006)	.978	.980	1.026	.881	.893	.885
68 (SO = 0.008)	.642	.922	.705	1.031	.845	1.095

QUADRO 2.III

EVOLUÇÃO DA SECÇÃO TRANSVERSAL EM 1985
(Quocientes dos valores médios de PM e de A)

I - inicial; P - depois da 1a. rega; S - depois da 2a. rega; T - depois da 3a. rega; s = "sulco n°"

		Cabeceiras			100m			200m		
		I/P	P/S	S/T	I/P	P/S	S/T	I/P	P/S	S/T
PERIMETRO										
S8	s2 S0=.008	--	.895	.888	.778	.985	1.036	.899	.991	.892
	s5	.779	1.030	.993	.827	.952	1.007	.974	.918	1.025
S5A	s2 S0=.005	.617	.971	1.040	.729	1.066	1.18	.739	.906	.974
	s7	.879	.917	1.029	.789	1.021	.917	.772	.800	.899
S5B	s2 S0=.005	.776	.924	.959	.907	.939	1.003	.824	1.117	.904
	s7	.670	1.017	.998	.679	1.010	1.029	.886	.991	1.041
S2	s3 S0=.002	.831	.950	.949	.655	.942	1.058	1.049	.809	1.051
AREA										
S8	s2 S0=.008	--	.879	.826	.666	.988	1.065	.889	.987	.867
	s5	.691	1.053	1.001	.755	.949	1.017	.903	.949	1.025
S5A	s2 S0=.005	.482	.971	1.055	.633	1.051	1.042	.636	.871	.959
	s7	.833	.883	1.036	.690	1.039	.888	.687	.747	.846
S5B	s2 S0=.005	.693	.921	.928	.885	1.039	.888	.759	.747	.877
	s7	.582	1.026	.991	.570	1.029	1.036	.772	.956	1.061
S2	s3 S0=.002	.722	1.002	.902	.556	.920	1.081	1.098	.721	1.082

Os mesmos programas permitem calcular, relativos a cada estação de controlo, os valores de PM e de A para diversos valores de y e para as várias ocasiões - I = inicial, P = depois da primeira rega, S = depois da segunda rega, etc - e relacioná-los por quocientes que evidenciam as evoluções sofridas pela secção transversal. O "output" é sob a forma de quadros comparativos, de que os Anexos C 2.1 a C 2.3 são exemplos. No Quadro 2.II resumem-se os quocientes entre valores do perímetro molhado e da área entre as

várias regas traduzindo as evoluções verificadas nos ensaios de 1984. No quadro 2.III e na fig. 2.10 estão idênticos elementos, mas relativos aos ensaios de 1985.

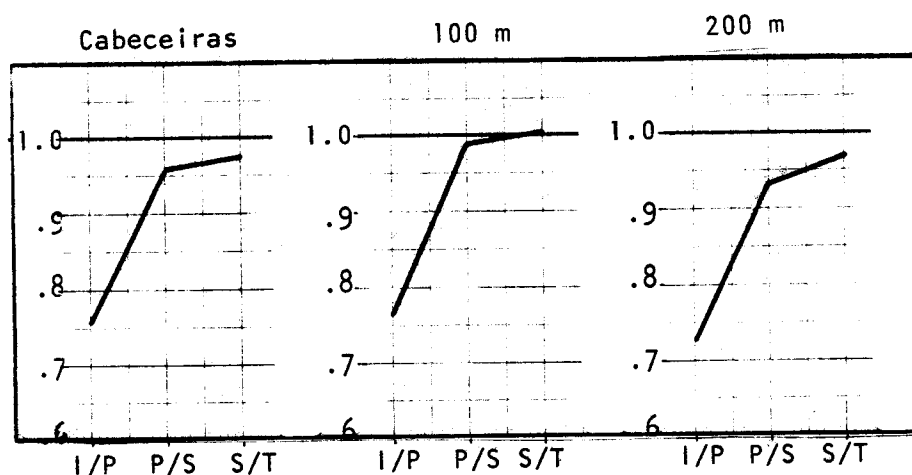


Fig. 2.10 - Evolução dos quocientes entre valores do perímetro molhado P_m
 I/P = P_m medido no início do ensaio/
 P_m medido após a 1ª rega;
 P/S = idem, 1ª rega/2ª rega;
 S/T = idem. 2ª rega/3ª rega

Pode ver-se que, aliás como seria de esperar, perímetro e área se acompanham quanto ao sentido da evolução, dum rega para outra. Se se decidir considerar importantes as alterações superiores a 10% do perímetro médio ou da área média, que se assinalam nos quadros 2.II e 2.III escrevendo os respectivos quocientes (inferior a 0.9 ou superior a 1.1) a negrito, tornar-se-á mais fácil tirar partido daqueles quadros.

Nota-se logo, com maior evidência na fig. 2.10 e no quadro mais discriminado de 1985, que são quase sempre importantes (quocientes afastados da unidade) as alterações introduzidas pela primeira rega, sendo raramente importantes as alterações introduzidas pelas regas seguintes. Isto indica já que, para fins de

projecto e/ou de modelação matemática, se deverão considerar as secções medidas após a primeira rega. Também ressalta que, em mais de 2/3 dos casos, as alterações são de aumento (quocientes menores que 1), quer para o perímetro, quer para a área.

Não se notam influências do declive longitudinal dos sulcos ou do caudal na importância ou no sentido das alterações. Nota-se alguma tendência para diminuírem os valores das alterações (aproximação dos quocientes à unidade), das cabeceiras para jusante.

Tirada a conclusão de que interessa, para usos futuros, a geometria da secção transversal após a primeira rega, é essa a ocasião a que se reportam as equações representativas, de que se trata em seguida.

Dos já referidos quadros gerais de elementos da secção transversal que constituem os anexos C 2.1 a C 2.3, retiraram-se as equações do perímetro molhado PM e da área A que se agruparam por estações principais - cabeceiras, 100 m e 200 m - no Quadro 2.IV. Também aqui não há influência do declive longitudinal dos sulcos, isto é, para a mesma estação não se notam diferenças entre modalidades. Pelo contrário, tanto para o perímetro como para a área há tendência para os coeficientes diminuírem e os expoentes aumentarem das cabeceiras para jusante.

O aspecto certamente mais interessante que o Quadro 2.IV mostra e que se procurou salientar através da fig. 2.11 é a variação dos coeficientes e expoentes das equações ao longo do comprimento dos sulcos, de tal modo que a estação intermédia, a dos 100 m, verifica equações, quer do perímetro quer da área, cujos parâmetros estão próximos dos valores médios de todos os determinados nos ensaios. Assim, tomando primeiro os valores de 1984, das várias determinações feitas na estação de 100 m após a primeira rega obtêm-se as equações

$$PM = 12.402 Y^{.488} \quad e \quad A = 7.164 Y^{1.518} \quad (2.2)$$

QUADRO 2. IV

EQUAÇÕES DO PERIMETRO E DA AREA DA SECÇÃO
APÓS A PRIMEIRA REGA

ESTAÇÃO, MODAL.	PERIMETRO		AREA		
	p	r	l	q	
1984					
	G4	14.031	.359	8.724	1.397
CABECEIRAS	G6	10.163	.555	5.838	1.588
	G8	19.498	.259	12.611	1.287
	Média	14.564	.391	9.058	1.424
	G4	13.778	.464	8.074	1.512
100m	G6	11.947	.500	6.915	1.514
	G8	13.269	.490	7.764	1.522
	Média	12.848	.485	7.584	1.516
	G4	11.310	.564	6.529	1.596
200m	G6	10.538	.544	6.032	1.579
	G8	10.648	.555	6.122	1.575
	Média	10.832	.554	6.228	1.583
	Médias gerais	12.798	.477	7.623	1.508
1985					
	S2	12.250	.501	7.092	1.529
	S5B	11.490	.563	6.377	1.616
CABECEIRAS	S5A	19.478	.397	12.080	1.467
	S8	13.491	.487	7.893	1.530
	Média	14.177	.487	8.361	1.536
	S2	11.875	.574	6.433	1.640
	S5B	12.150	.535	7.142	1.545
100m	S5A	15.488	.444	9.099	1.491
	S8	13.985	.439	7.862	1.520
	Média	13.375	.498	7.634	1.549
	S2	6.585	.707	3.491	1.674
	S5B	11.045	.536	6.361	1.539
200m	S5A	12.219	.544	6.772	1.598
	S8	9.283	.561	5.145	1.568
	Média	9.783	.587	5.442	1.595
	Médias gerais	12.445	.524	7.146	1.560

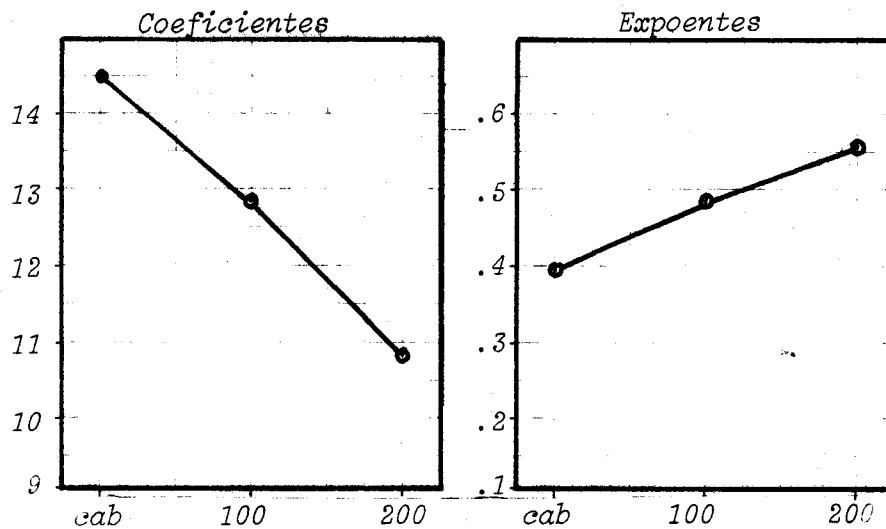


Fig. 2.11 - Variação dos parâmetros das equações de PM ao longo dos sulcos, em 1984 (Quadro 2.11)

As médias dos parâmetros das equações determinadas por modalidade, para a mesma estação (Quadro 2.IV), conduzem a:

$$PM = 12.848 Y^{.485} \quad e \quad A = 7.584 Y^{1.516} \quad (2.3)$$

enquanto as médias gerais de todos os sulcos e das três estações conduzem a:

$$PM = 12.798 Y^{.477} \quad e \quad A = 7.623 Y^{1.508} \quad (2.4)$$

Os valores de Pm ou de A obtidos por uma ou por outra destas equações diferem entre si sempre menos de 3%. Comparando-se com o erro de 10% que acima se admitiu como limiar, conclui-se que as equações se podem considerar equivalentes.

Vejam-se agora os valores semelhantes determinados em 1985. Do Anexo C 2.1 tiram-se as equações médias da estação 100 m (2a rega):

$$PM = 13.205 Y \cdot 490 \quad e \quad A = 7.526 Y^{1.539} \quad (2.5)$$

ao passo que da média por modalidades se tem

$$PM = 13.375 Y \cdot 498 \quad e \quad A = 7.634 Y^{1.549} \quad (2.6)$$

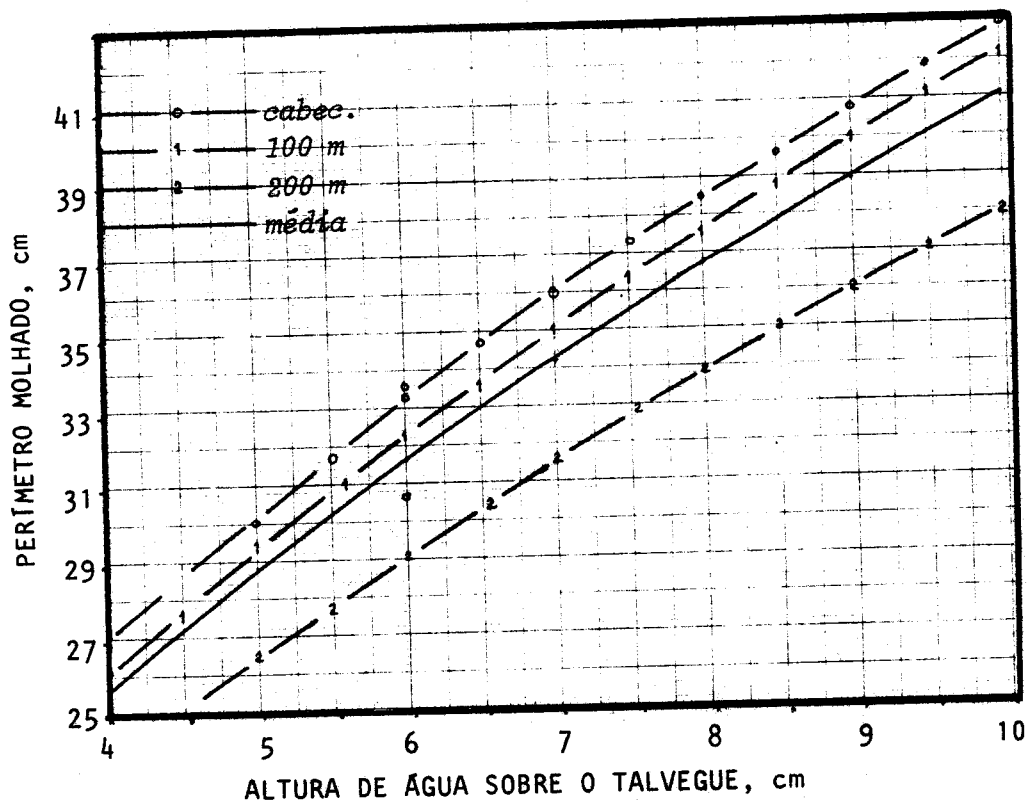


Fig. 2.12 - Variação do perímetro da secção transversal com a altura de água no sulco (dados de 1985)

e das médias gerais

$$PM = 12.445 Y^{.524} \quad e \quad A = 7.146 Y^{1.560} \quad (2.7)$$

e tem cabimento conclusão semelhante à que atrás se tirou relativamente às equações obtidas em 1984. Se se mantiver o citado limiar de erro admissível, conclui-se ainda que as equações de 1985 são semelhantes às de 1984.

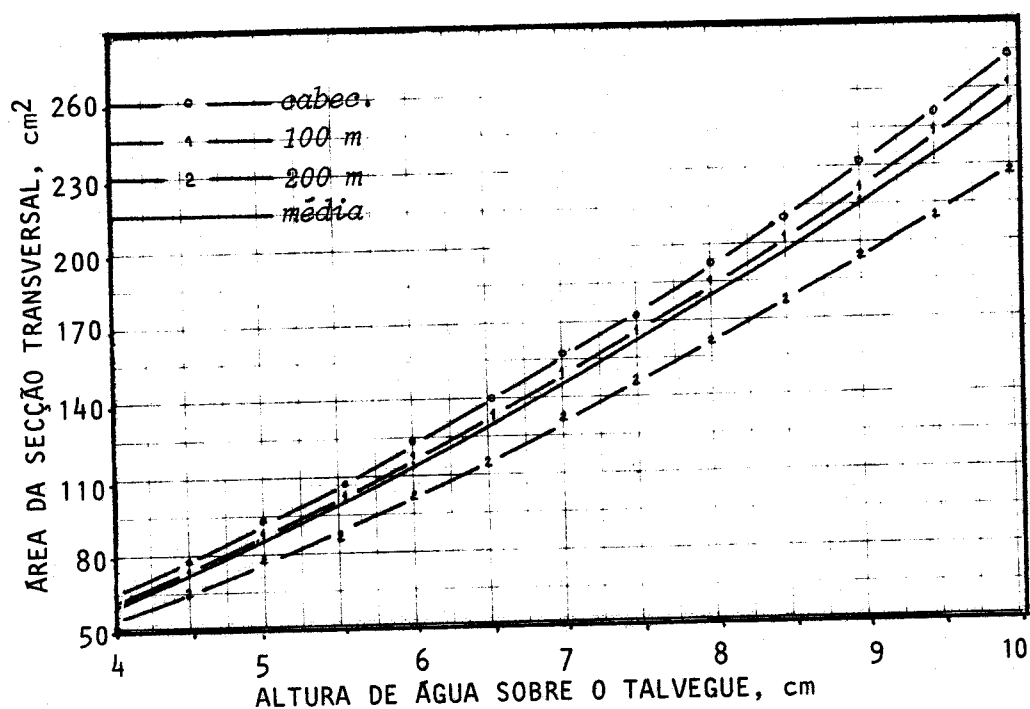


Fig. 2.13 - Variação da área da secção transversal com a altura de água no sulco (dados de 1985)

Nas figs 2.12 e 2.13 estão representados os valores de perímetro molhado PM e de área A relativos às várias secções ao longo do sulco e à respectiva equação média. Também aqui se conclui que se pode representar um sistema de sulcos, no que respeita a geometria da secção transversal, pelas relações que se obtiverem

numa estação situada a meio do comprimento dos sulcos, depois de ter sido efectuada uma rega.

Saliente-se que os números indicados serão válidos apenas para os sulcos abertos com ferros derregadores como os que se usaram nos ensaios, aivequilhas de 16 polegadas. Outros ferros conduzirão a outras dimensões, ainda que por certo se mantenha a natureza das relações acima descritas.

Na modelação da rega, toma-se o sulco como sendo prismático, mas faz-se assim por necessidade de simplificação da análise das condições do escoamento e não por se entender ser aquela uma hipótese teoricamente fundamentada. Pois bem, a regularidade da variação da secção transversal ao longo do sulco, que se acaba de observar, parece vir em apoio da citada hipótese.

2.2.3. Equação da parábola

A simples observação de qualquer dos desenhos da secção transversal dos sulcos (como o da fig. 2.9) mostra que tal secção é parabólica, o que aliás é referido por vários autores. Surge assim prontamente a ideia de que a geometria poderá ser melhor traduzida por equações do tipo parabólico. Fez-se pois o ajustamento dos dados disponíveis de 1984 a equações do tipo

$$Y = b_1x^2 + b_2x + b_3 \quad (2.8)$$

relativamente a cada uma das oportunidades de controlo: inicial, entre a primeira e a segunda rega e depois da segunda rega. O Anexo C 2.4 é uma amostra dos resultados obtidos do referido ajustamento.

Dele se extraíram e reuniram no Quadro 2.V apenas os valores dos coeficientes de determinação. Vê-se que é em geral muito bom o ajustamento ensaiado. Mais, não parecem importantes as diferenças, quer entre as diversas estações de controlo, quer entre as diferentes ocasiões. O que significa que, mesmo depois da primeira e

QUADRO 2.V

SECÇÃO TRANSVERSAL
REGRESSÃO PARA A EQUAÇÃO DA PARÁBOLA

$$Y = b_1x^2 + b_2x + b_3$$

COCFICIENTES DE DETERMINAÇÃO, r^2

MODAL.	CABECEIRAS			100m			200m		
	I	1ª/2ªR	Dep.2ªR	I	1ª/2ªR	Dep.2ªR	I	1ª/2ªR	Dep.2ªR
	.874	.841	.918	.916	.771	.687	.682	.808	.698
64	.866	.873	.772	.904	.923	.792	.802	.883	.846
	.781	.746	.756	.727	.795	.877	.885	.801	.874
	.695	.616	.385	.799	.866	.988	.772	.784	.829
66	.869	.900	.913	.837	.790	.737	.857	.702	.688
	.848	.872	.902	.902	.893	.898	.729	.883	.822
	.872	.988	.992	.859	.853	.893	.881	.815	.693
68	.835	.925	.938	.900	.962	.935	.801	.883	.763
	.743	.840	.863	.774	.887	.831	.731	.826	.887

$r^2 > .90$ em 20% dos casos

$r^2 > .80$ em 67% dos casos

$r^2 > .70$ em 90% dos casos

da segunda rega, a equação da parábola traduz bem a forma da secção transversal dos sulcos.

Note-se que este bom ajustamento não retira interesse às regressões, feitas atrás, para equações do tipo potência. É que, para além de as correlações não serem inferiores às da parábola, aquelas equações são as usadas em muitos dos modelos matemáticos da rega por sulcos, quer de inércia nula (Souza, 1981; Elliott et al., 1982), quer do escoamento uniforme (Walker e Skogerboe, 1982; Lee 1982), quer ainda nos de balanço volumétrico (Essafi, 1982).

2.2.4. Quantificação das alterações

No Quadro 2.VI reúnem-se, tentando salientar as variações no tempo, valores da altura total Y (do talvegue à linha base horizontal definida pelos topos das estacas de controlo) e da área total A_b da respectiva secção transversal (entre a mesma linha base e o perímetro total do sulco). Serão estes parâmetros que, reportando-se à mesma linha base fixa, melhor quantificarão as alterações sofridas pela secção transversal dos sulcos.

Nomeadamente, a análise da evolução de A_b pode constituir um bom estudo, muito simples, da erosividade da rega, permitindo quantificar os arrastamentos e depósitos de terra ao longo dos sulcos. Por outro lado, da variação de Y pode concluir-se acerca da evolução do declive SO da razante do sulco.

Geralmente o sentido e a importância das variações de Y correspondem aos das variações da área da secção transversal. Quando tal não acontece, a importância das variações é pequena. Quer dizer, a um aumento da área total corresponde um aumento da profundidade do sulco e vice-versa. Pode-se portanto escolher, para quantificar as alterações, apenas um (qualquer) dos dois parâmetros.

É fácil verificar que, em qualquer das modalidades, as variações do declive longitudinal dos sulcos são insignificantes.

QUADRO 2.VI

QUANTIFICAÇÃO DAS ALTERAÇÕES DA SECÇÃO TRANSVERSAL

(VALORES DOS ENSAIOS DE 1984)

CABECEIRAS

MOD.	PROFUNDIDADE Y, cm						AREA A_b cm^2					
	(valor da diferença)						(razão cm^2/cm^2)					
	I	P	P-I	S	S-I	S-P	I	P	P/I	S	S/I	S/P
64	14.78	14.11	-	11.52	-	-	388.65	379.34		322.12		
	14.78	14.28	.48	11.78	2.99	2.51	356.07	345.05	0.96	333.17	0.85	0.88
	16.64	16.36	cm	13.92	cm	cm	386.52	362.46		304.14		
66	16.30	22.01	+	21.83	+	-	425.43	585.56		587.55		
	13.18	15.52	3.39	14.65	2.63	0.76	345.47	442.31	1.32	400.98	1.26	0.95
	12.22	14.34	cm	13.10	cm	cm	287.87	369.71		355.50		
68	12.33	6.03	-	6.68	-	-	293.84	219.48		207.30		
	13.80	13.21	2.43	12.34	2.73	0.3	351.56	401.88	1.04	401.77	1	0.96
	14.70	14.29	cm	13.61	cm	cm	361.46	439.38		411.24		
100m												
MOD.	PROFUNDIDADE Y, cm						AREA A_b cm^2					
	I	P	P-I	S	S-I	S-P	I	P	P/I	S	S/I	S/P
64	12.67	14.97	+	15.57	+	-	331.56	409.35		401.63		
	13.68	13.60	0.28	13.22	0.12	0.16	363.12	393.57	1.11	359.83	1.05	0.95
	15.25	13.86	cm	13.17	cm	cm	380.14	379.49		363.83		
66	14.32	13.94	+	11.10	-	-	342.25	366.68		293.92		
	14.62	16.61	1.24	14.39	1.14	2.38	337.62	412.77	1.18	373.43	1.02	0.87
	11.54	13.64	cm	11.57	cm	cm	300.51	372.07		331.88		
68	13.19	15.06	-	14.17	-	+	331.87	422.53		401.11		
	12.09	10.22	0.73	12.04	0.49	0.24	321.76	343.19	1.15	377.73	1.18	1.03
	16.48	14.30	cm	14.08	cm	cm	376.98	418.76		432.11		
200m												
MOD.	PROFUNDIDADE Y, cm						AREA A_b cm^2					
	I	P	P-I	S	S-I	S-P	I	P	P/I	S	S/I	S/P
64	17.36	16.75	-	15.49	-	-	436.91	440.78		421.72		
	16.07	14.86	0.94	14.06	2.15	1.21	448.28	457.70	0.98	423.67	0.92	0.94
	15.19	14.19	cm	12.61	cm	cm	403.34	371.00		347.79		
66	14.81	15.75	+	14.11	+	-	370.46	408.63		385.50		
	12.31	14.38	1.03	14.40	0.93	0.11	282.08	356.88	1.17	347.94	1.20	1.03
	11.80	12.07	cm	13.19	cm	cm	236.24	267.27		315.24		
68	12.96	14.94	+	16.22	+	+	356.38	433.83		432.84		
	14.62	14.29	0.46	14.98	0.85	0.38	367.06	422.55	1.15	397.93	1.16	1.01
	15.85	15.59	cm	14.77	cm	cm	395.26	433.23		467.05		

Tomando como uniformes os troços entre estações de controlo, isto é, de 0 a 100 m e de 100 m a 200 m e tomando apenas as variações maiores, que são as verificadas entre o estado inicial I e o depois da segunda rega S, obtêm-se os resultados incluídos no Quadro 2.VII.

QUADRO 2.VII

EVOLUÇÃO DO DECLIVE LONGITUDINAL DOS SULCOS EM DUAS REGAS

MODALID.	DECLIVE INICIAL	DECLIVE FINAL 0 - 100m	DECLIVE FINAL 100m - 200m	DECLIVE FINAL MÉDIO
64	0.004	0.00368	0.00423	0.00396
66	0.006	0.00638	0.00579	0.00609
68	0.008	0.00778	0.00787	0.00783

Não se verificam arrastamentos e depósitos de terra ao longo do sulco, isto é, as alterações da área total da secção transversal não correspondem a terra transportada ao longo do sulco, sendo antes variações dentro da própria secção como se pretende ilustrar com a fig. 2.14. Aliás, note-se que na maior parte dos casos as alterações são ampliações de A_b .

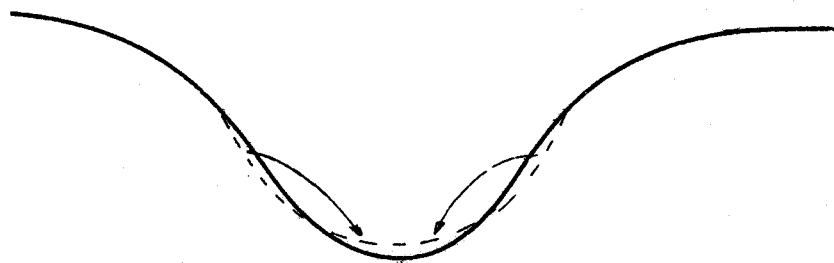


Fig. 2.14 - Esquema de evolução da secção transversal dos sulcos com as regas

2.3. TESTES DE INFILTRAÇÃO. INFILTRÓMETROS

As características de infiltração do solo desempenham papel primordial na rega por escoamento, determinando os parâmetros do escoamento, logo as qualidades da rega. Nos sulcos a infiltração faz-se através da superfície curva irregular, não horizontal, do sulco e pode tomar-se como bidimensional. Os volumes infiltrados e as respectivas taxas variam não só com o tempo mas também com a forma e as dimensões da secção transversal, nomeadamente com o perímetro molhado. Outros factores do solo condicionam a infiltração: perfil de humidade antes do processo e características da superfície (agregação, eventuais crostas).

Seria difícil analisar simultaneamente a influência de todos estes factores. Por isso se tentou neutralizar alguns mantendo-os constantes; nomeadamente, procurou-se que o solo tivesse sensivelmente o mesmo perfil de humidade aquando da realização dos testes. A evolução do perfil de humidade foi acompanhada por uso do medidor neutrónico de humidade e também por determinação gravimétrica.

Porque o perímetro molhado influencia a infiltração em sulcos (Strelkoff e Souza, 1984), foi-lhe dada atenção especial, sendo tratado como uma das variáveis de que depende o processo. Para isso, a geometria da secção transversal nos troços de sulco submetidos a testes de infiltração foi estudada como se descreveu para as estações dos ensaios de rega. Por outro lado, controlou-se a profundidade da água de modo a fixar o perímetro molhado num dado valor para cada teste.

As características especiais da infiltração em sulcos implicam que o seu estudo se faça mediante infiltrómetros próprios - de sulco - que a seguir se descrevem, muito diferentes do infiltrómetro de anel, habitualmente usado para o estudo da infiltração unidimensional.

2.3.1. Infiltrómetro de sulco bloqueado

Como já foi referido, a infiltração em sulcos tem sido estudada essencialmente através de testes com "infiltrómetro de sulco bloqueado".

Consiste em determinar o volume de água que se infiltra por unidade de comprimento do sulco, em função do tempo, sem deixar que a água escoe, obrigada por dois anteparos a estagnar. A distância entre os anteparos é o comprimento experimental; logo a montante e a jusante, fazem-se troços suplementares, bordaduras, que se destinam a eliminar do processo a terceira dimensão, ao longo do sulco.

Com finalidade semelhante, para evitar a progressão indefinida do movimento lateral da água e aproximar as condições do teste das que acontecerão na rega, alguns autores têm posto, a cada lado do troço experimental, sulcos bordaduras, com idênticas condições de infiltração. Outros autores têm dispensado este cuidado, entendendo que a interferência entre os perfis de humedecimento de sulcos colaterais se dá numa fase já muito adiantada, sendo desprezáveis as consequências que daí possam vir para o projecto dos sistemas. Nos solos Argiluvitados, em que

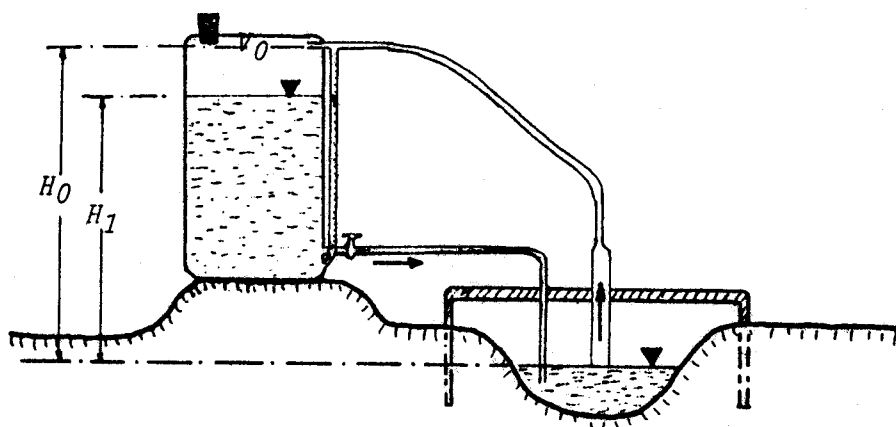


Fig. 2.15 - Esquema do infiltrómetro de sulco bloqueado, com tambor de vácuo (transversal ao sulco)

rapidamente predomina a movimentação horizontal da água, é bem evidente que os sulcos bordaduras são indispensáveis.

Na foto 2.3 (Anexo A) apresenta-se uma das montagens de infiltrômetro de sulco bloqueado feito no âmbito do presente estudo. A alimentação em água, quer do troço experimental quer das bordaduras, é feita por depósitos fechados, que funcionam de acordo com o princípio de Boyle-Mariotte (fig. 2.15). Podem usar-se tambores abertos, sendo o débito controlado por dispositivo de flutuador. Porém, estes dispositivos são no campo sujeitos a avarias e deficiências de funcionamento, mais que o sistema de tambor fechado.

2.3.2. Infiltrômetro de sulco com retorno

O método que se acaba de descrever, fazendo a água estagnar no sulco, cria condições de infiltração sensivelmente diferentes das que acontecerão durante a rega. Nomeadamente, haverá lugar a uma redeposição de partículas transportadas em suspensão na água, com rapidez e em quantidade muito superiores às que se verificarão durante a rega. Do mesmo modo, o rearranjo das partículas à superfície e o fechamento de alguns poros será mais acentuado.

Walker e Skogerboe (1982) descrevem o "recycling furrow infiltrometer" e Malano (1982) usou-o em testes com escoamento contínuo e com escoamento intermitente ("surge flow"), concluindo que em qualquer dos casos ele simula melhor as condições de infiltração na rega que o método do sulco bloqueado. As montagens do infiltrômetro com recirculação ou retorno (foto 2.4, Anexo A), feitas no âmbito deste estudo têm o princípio do descrito e usado por aqueles autores, mas difere nos vários aspectos de execução.

Consistem (fig. 2.16) de um troço experimental de sulco de alguns metros de comprimento (3m no caso presente), limitado a montante e a jusante por caixas metálicas, a de montante para receber a água do depósito de alimentação e a de jusante para

receber a água não infiltrada; esta é dali enviada de volta ao depósito (recirculada) por uma electrobomba comandada por um dispositivo de flutuador e alimentada por bateria ou gerador. A montagem repete-se a cada um dos lados, não devendo dispensar-se, à semelhança do que se disse para o método de sulco bloqueado, as "bordaduras".

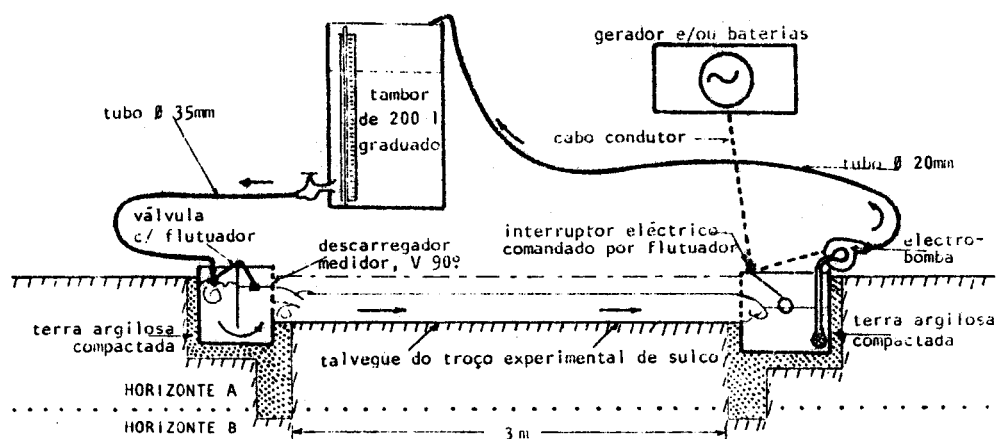


Fig. 2.16 - Esquema do infiltrômetro de sulco com retorno

Para evitar a infiltração por sob as caixas, para montante e para jusante, pode delimitar-se o troço experimental de sulco por chapas metálicas que se enterrem no solo até profundidade razoável, no caso vertente até atingirem o horizonte B. Porém, tal colocação de chapas é extremamente difícil e pouco prática, repetindo-se a dificuldade quando se trata de retirar as chapas para as recolocar em outra montagem. Julga-se preferível e suficiente cavar, para baixo e para fora da cova onde se vão instalar as caixas, valas estreitas (o que a enxada ou outro instrumento de trabalho permitir)

e suficientemente fundas (que atinjam o horizonte pouco permeável), as quais se reenchem de terra argilosa humedecida e compactada.

A caixa de montante fica um pouco elevada em relação ao fundo do sulco, pois debita para este através de um recorte em V a 90° praticado numa das faces, que constituiu um descarregador de medida de soleira delgada. Para que a água chegue ao descarregador em regime laminar, a caixa tem uma chicana. Tem também um dispositivo de flutuador, que regula o caudal que sai do depósito, de modo a manter na caixa medidora o nível pretendido.

A secção transversal dos troços de sulco submetidos ao teste de infiltração com recirculação foi estudada pelo processo descrito atrás, com uso do perfilómetro de régua moldável, como também se faz para o infiltrómetro de sulco bloqueado.

Antes de iniciar o teste, define-se o valor pretendido do perímetro molhado, estima-se o valor da altura da água correspondente sobre o talvegue e calcula-se o caudal que lhe corresponde, de acordo com uma das fórmulas do regime uniforme em canais. Põe-se água no sulco, sem preocupação de a medir, até atingir aproximadamente a altura pretendida. Então, feita a leitura zero no depósito e registada em ficha própria em conjunto com a hora, abre-se rapidamente a torneira de alimentação e procura-se fazer escoar no sulco o caudal desejado, lendo no descarregador e manobrando a torneira. As leituras e seus registos são feitos como para o método anterior, cada 5 ou 10 minutos. Pode fazer-se o registo contínuo do nível, com limnógrafo, para posterior tratamento em gabinete, eventualmente com leitura por digitalizador.

As vezes é preciso reencher o tanque abastecedor. A operação deve ser tão rápida quanto possível, com registos da leitura (e do tempo) imediatamente antes e imediatamente depois.

2.4. ENSAIOS DE REGA

Primariamente os ensaios de rega destinaram-se a obter: 1) experiência de organização, execução e controlo da rega por sulcos; 2) dados dos parâmetros desta nova técnica, nomeadamente as curvas de avanço e de recessão, da eficiência e uniformidade das regas, da erosividade, etc. Estes dados são especialmente úteis nos testes de ajustamento dos modelos matemáticos e na obtenção das equações da infiltração.

2.4.1. Modalidades de ensaio; dimensões

Uma variável que desempenha papel de relevo no escoamento é o declive longitudinal dos sulcos. Estes desenvolveram-se segundo as curvas de nível, de acordo com o esquema de organização do terreno descrito na Introdução. O declive S0 foi a base para individualizar as modalidades: em 1984, G4 (S0 = 0,004), G6 (S0 = 0,006) e G8 (S0 = 0,008); em 1985, S2 (S0 = 0,002), S5 (S0 = 0,005) e S8 (S0 = 0,008). Em 1984 praticou-se apenas uma distância entre sulcos - 1,5 m - dentro da modalidade, separação que parece boa nestes solos, em que é grande o alcance horizontal da infiltração. Para se observar também o efeito sobre a velocidade de avanço que resulta duma interferência maior entre sulcos, estes foram separados de 0,75m nas modalidades de 1985, com excepção da modalidade S5, que foi desdobrada em duas, cada uma com metade dos sulcos a 0,75 m e outra metade a 1,5 m: modalidades S5A e S5B.

Para cada modalidade, foi marcada no terreno uma linha com o declive pretendido, por meio de nível de topógrafo e piquetagem a cada 10m (5 em algumas zonas onde a topografia era mais irregular). Para abrir os sulcos, 5 ou 6 a cada lado da linha "mestra" piquetada, o tractor deslocou-se paralelamente à linha mestra, puxando um cultivador no qual os bicos foram substituídos por aivequilhas de 16 polegadas.

O comprimento útil dos sulcos foi de 200 m, com excepção das modalidades com $S_0 = 0.008$ (68 em 1984 e 58 em 1985) em que o comprimento foi de 300 m. A cada 20m ao longo dos sulcos foi colocada uma estaca pintada, definindo uma estação de controlo. As estações de 0m (cabeceiras), 100 m, 200 m e 300 m foram consideradas principais, porque várias determinações só ali eram feitas: geometria da secção transversal, altura da água sobre o talvegue, caudal e perfil de humedecimento.

As outras estações serviram essencialmente para referir os tempos de avanço e de recessão.

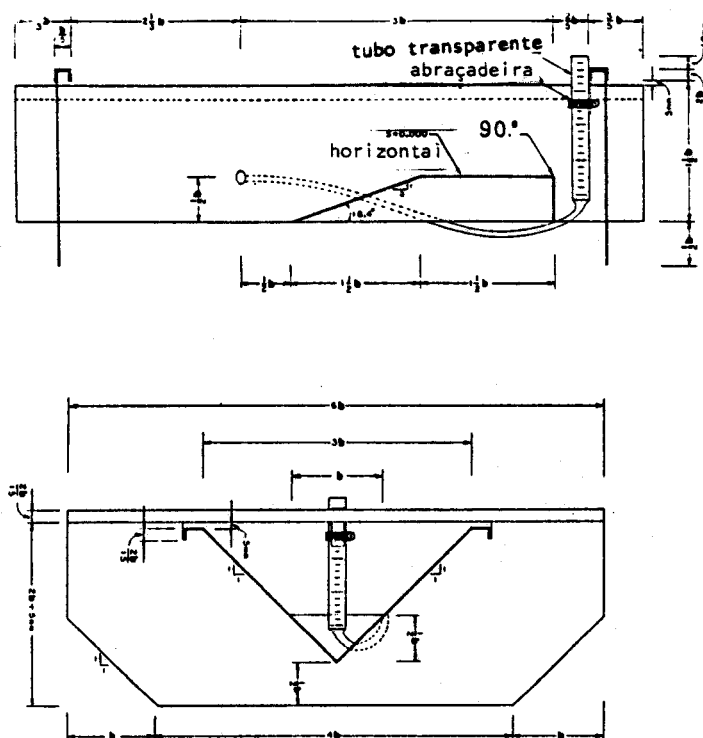


Fig. 2.17 - Plano de um descarregador-medidor de Replogle e Bos (1982). Em cima corte longitudinal; em baixo vista de frente.

2.4.2. Equipamento

Para determinar a altura v de água sobre o talvegue, usou-se uma régua em T largo apoiada nos topos das estacas que materializavam a secção de controlo da geometria (perfilómetro) descrita na secção 2.2.1. deste capítulo (foto 2.5, Anexo A). Muito próximo, como se pode ver na mesma fotografia, estava instalado um limnógrafo, do qual se obtinha uma informação contínua, registada, dos caudais e que permitia também a leitura directa numa escala. A leitura directa do caudal na escala ofereceu uma facilidade adicional: a aferição permanente, em pleno campo, do registo limnográfico e das condições de instalação e funcionamento dos limnógrafos.

Estes aparelhos foram propositadamente construídos, aliás como boa parte do equipamento, na oficina da Divisão de Engenharia da U.E. São fundamentalmente constituídos de um mecanismo de relojoaria (tambor de eixo vertical), com rotação em 12 horas, acoplado a um pequeno descarregador-medidor de soleira espessa (fig. 2.17 e foto 2.5) O nível da água é directamente transmitido (escala 1/1) do flutuador ao aparato por haste rígida. Os descarregadores-medidores, previamente calibrados no Laboratório de Hidráulica da U.E., são do tipo proposto por Replogle & Bos (1982), que os idealizaram para a medição de caudais em sulcos e outros canais de terra.

Definiu-se a modalidade pelo declive longitudinal dos sulcos, melhor, pelo declive longitudinal dum sulco "mestre" central. Dentro de cada modalidade constituíram-se variantes, cada uma com seu valor de caudal por sulco (módulo parcelar). Cada variante tem três sulcos com o mesmo módulo parcelar, portanto são três repetições

Os valores do módulo parcelar foram arbitrados partindo da fórmula empírica

$$Q_0 = \frac{0.006}{S_0} \quad (2.9)$$

onde é Q_0 o módulo parcelar em l/s.sulco e S_0 o declive longitudinal dos sulcos. Esta é uma fórmula prática habitualmente usada para estimar o caudal máximo não erosivo. Os três valores de módulo parcelar escolhidos em princípio foram: o dado pela fórmula, um aumentado de 25% e o terceiro reduzido de igual proporção. Cedo porém se verificou que esta fórmula conduz a valores de caudal bastante reduzidos e o valor menor foi frequentemente abandonado. Por outro lado, verificou-se que valores de caudal aumentados de mais de 50% em relação ao valor central dado pela fórmula continuavam a não ser erosivos.

O equipamento de alimentação dos sulcos fazia também o controlo dos valores de caudal pretendidos. Era um tubo metálico em troços de acoplamento rápido por alavanca (usados na rega por aspersão) no qual se praticaram, ao longo de uma geratriz e equidistantes 75 cm, janelas rectangulares com 60 mm x 30 mm, as quais se dotaram de corrediças que, por meio de um dispositivo de fixação com mola, podiam fechar completamente a janela ou abri-la até cerca de 30 mm x 30 mm. Assim se constituiu um "tubo de janelas", semelhante ao conhecido "gated pipe".

O "tubo de janelas" terminava a conduta de distribuição, que vinha dum tanque situado a uma cota superior em média cerca de 4m ao terreno de ensaio. Calcularam-se as perdas de carga e os caudais possíveis e determinaram-se as aberturas de janela convenientes para cada módulo parcelar pretendido. Estes valores foram depois testados "in loco", antes de se iniciar o ensaio. Para obstar a diferenças de carga significativas entre janelas, já que as cabeceiras dos sulcos se localizavam ao longo dum linha segundo o maior declive do terreno, que em alguns casos é da ordem dos 2%, os tubos de janelas eram horizontalizados, com a ajuda de um nível de pedreiro. Por outro lado, para se medir com balde e cronógrafo, para confirmação e controlo várias vezes durante cada rega, os caudais debitados por cada janela, o tubo foi colocado cerca de 50 cm acima do solo, por suportes de altura regulável por parafuso sem fim (foto 2.6, Anexo A).

2.4.3. Determinações e registos

Ficaram assim registados continuamente os caudais na entrada (ou módulo parcelar) e em cada estação principal. O controlo da rega consistiu então em registar, estação por estação (de 20 em 20 m), em cada sulco, os respectivos tempos de avanço e posteriormente os de recessão. Todos estes elementos eram escritos numa ficha diária posteriormente transferidos para suporte magnético (Anexos D1 e D2).

Uma das primeiras utilizações dos dados é um cálculo das "qualidades" - uniformidade e eficiências - da rega. A uniformidade é medida pelo coeficiente de uniformidade de Christiansen

$$C_U = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (D_i - D_m)}{N \cdot D_m} \quad (2.10)$$

onde D_i é a quantidade (mm ou l/m de sulco) infiltrada em qualquer ponto ao longo do sulco (foi calculada para as estações de controlo); D_m é a média das alturas ou volumes D_i ; N é o número de observações, igual ao número de estações de controlo.

Foram calculadas também as eficiências de infiltração e de aplicação. A eficiência de infiltração $e_i = \nabla_u / \nabla_i$ traduz o grau de aproximação entre a quantidade de água que se infiltrou e a que ficou utilizável para a cultura, ∇_u . A diferença entre ∇_u e ∇_i é a quantidade ∇_p de água que se perde por percolação para baixo do alcance das raízes; então, $\nabla_p = (1 - e_i) \cdot \nabla_i$. É claro que interessa um valor elevado de e_i , desde que ele não aconteça em virtude de uma parte da parcela ficar mal regada. Quer dizer, a determinação de e_i deve sempre ser completada com a verificação de que se tem, em qualquer ponto ao longo do sulco, $h_i > D$, com a dotação útil D expressa também em l/m de sulco. A eficiência de aplicação é $e_a = \nabla_u / \nabla_0$, sendo ∇_0 o volume total admitido na parcela, isto é, $\nabla_0 = Q_0 \cdot t_c$, com Q_0 constante e t_c = tempo de admissão da água no sulco.

2.5. ESTUDO DA RUGOSIDADE DOS SULCOS

A rugosidade da superfície dos sulcos é uma das características determinantes do escoamento. Não sendo geralmente considerada das mais importantes e sendo difícil de determinar, a maior parte dos autores limitam-se a adoptar valores aproximados e mais ou menos empíricos. Traduz-se geralmente pelo coeficiente de rugosidade de Manning, n , do qual se esperam os seguintes valores aproximados: em sulcos, solo nu, $n=0.04$; em faixas com cultura não protectora, em linhas na direcção do escoamento, $n=0.1$; em faixas com cultura semi-protectora, como cereais a lanço, $n=0.15$; em faixas com culturas protectoras, como prados permanentes bem estabelecidos, $n=0.25$ (Hart et al., 1982).

Os parâmetros do escoamento obtidos nos ensaios de 1985 permitiram determinar os valores do coeficiente de rugosidade e dispensar as indicações empíricas acima referidas. O coeficiente de rugosidade n foi obtido a partir da fórmula de Manning-Strickler

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2} \quad (2.11)$$

donde se tira

$$n = \frac{A^{5/3} \cdot S^{1/2}}{Q \cdot PM^{2/3}} \quad (2.12)$$

onde PM é o perímetro molhado o qual, bem como a área A da secção transversal, se relacionam com a profundidade de água y por equações-potência do tipo (2.1), como já houve ocasião de descrever.

Determinadas para cada secção (e cada rega) as equações (2.1) de PM e de A , introduzem-se em (2.12) e obtém-se o respectivo valor de n . Fez-se um total de 145 determinações, assim distribuídas: 1ª rega - 15; 2ª rega - 40; 3ª rega - 50; 4ª rega 40. Os resultados estão no Quadro 2.VIII.

Pode ver-se que, aliás como era de esperar, não há influência

QUADRO 2.VIII

CEFS. RUGOSIDADE DE MANNING

MODAL. E SULCO	CABEC	100m	200m	Médias
1a. REGA				
S8 sulco 2	.0000	.0000	.0000	
S8 sulco 5	.0000	.0000	.0000	
S5.A sulco 2	.1331	.0386	.0000	.086
S5.A sulco 7	.0000	.0000	.0000	
S5.B sulco 2	.0768	.0000	.0000	.077
S5.B sulco 7	.0000	.0000	.0000	
S2 sulco 3	.0050	.0094	.0755	.030
Médias	.1050	.0386	.0755	.073
2a. REGA				
S8 sulco 2	.1296	.0271	.0955	.084
S8 sulco 5	.0448		.0983	.072
S5.A sulco 2	.0346	.0325	.0580	.042
S5.A sulco 7	.0332	.0381	.0461	.039
S5.B sulco 2	.0850	.0203	.0000	.053
S5.B sulco 7			.0000	.150
S2 sulco 3	.0389	.0458	.0000	.042
Médias	.0788	.0724	.0745	.055
3a. REGA				
S8 sulco 2	.0737	.1325	.1181	.108
S8 sulco 5	.2191	.1358	.0739	.141
S5.A sulco 2	.0684	.0395	.0284	.045
S5.A sulco 7	.0727	.0959	.0595	.076
S5.B sulco 2	.1511	.0151		.083
S5.B sulco 7	.1512			.151
S2 sulco 3	.0280	.0581		.043
Médias	.1092	.1245	.0700	.093
4a. REGA				
S8 sulco 2	.1966	.2076	.1370	.180
S8 sulco 5	.1388	.1368	.0869	.119
S5.A sulco 2	.1342	.0640	.0000	.099
S5.A sulco 7	.0906	.1224	.0000	.107
S5.B sulco 2	.1195	.0904	.0000	.105
S5.B sulco 7	.2310	.1662	.1153	.171
S2 sulco 3	.0512	.0925	.1538	.099
Médias	.1367	.1257	.1233	.129

da posição ao longo dos sulcos, isto é da estação em que a medição foi feita. Também não há variação significativa em função do declive, embora seja grande a variação entre sulcos. Mas são bem significativas as diferenças entre regas, dos valores médios de todos os sulcos e estações.

O coeficiente de rugosidade n foi de 0.073 na primeira rega, que encontrou o solo com o entorramento resultante da construção dos sulcos. Os torrões foram em larga medida destruídos pela primeira rega, de modo que a segunda se fez com menor rugosidade, a que corresponde $n=0.055$. Da segunda para a terceira rega e desta para a quarta, a rugosidade aumentou acentuadamente, porque no ensaio não se fez combate às infestantes, as quais se tornaram grande obstáculo para o escoamento nas últimas regas. Em condições normais de solo cultivado, com combate às infestantes, poderá com certeza manter-se $n=0.055$ a partir da segunda rega; tal valor ou até um valor menor será utilizável logo na primeira rega, se o sulco for compactado após a abertura com derregador. Adiante, nos ensaios de ajustamento dum modelo de escoamento aos dados das regas, aplicar-se-ão os valores de n agora determinados:

1ª rega - 0.073; 2ª rega - 0,055; 3ª rega - 0.093; 4ª rega - 0.129.

CAPÍTULO 3

EQUAÇÕES DA INFILTRAÇÃO

Vários autores desenvolveram métodos, que já se descreveram no capítulo 2, para determinar equações da infiltração a partir dos dados do avanço das regas; alguns incluem também dados da fase de recessão. Seguiu-se no presente trabalho o método de Elliott e Walker (1982) para obter "equações padrão" da infiltração em sulcos. Originalmente o método conduz à obtenção da equação de Kostiakov modificada. Estendeu-se para obter também as de Kostiakov e de Philip.

Complementarmente, analisa-se a dependência das quantidades infiltradas em relação a: tipo de infiltrômetro, perímetro molhado, espaçamento entre sulcos e repetição da infiltração no mesmo local.

3.1. EQUAÇÕES DA INFILTRAÇÃO OBTIDAS DOS DADOS DE AVANÇO NAS REGAS

3.1.1. Procedimento original de Elliott e Walker (1982)

Dos métodos de balanço volumétrico disponíveis para obter equações da infiltração em sulco a partir de dados de avanço das regas usa-se o de Elliott e Walker (1982). Escolheu-se este porque está referido (Elliott e Eisenhauer, 1983) como um dos mais rigorosos. Por outro lado obtém uma equação do tipo da já indicada (1.34) de Kostiakov modificada ou de Lewis

$$I = k t^a + i_f t \quad (3.1)$$

sendo extensível à obtenção de outras equações da infiltração - Kostiakov e Philip. Entretanto, salientam-se alguns aspectos relativos à utilização do método para obter uma equação como a (3.1).

A fase de avanço é descrita por uma equação de tipo potência

$$x = p t_x^r \quad (3.2)$$

que relaciona a distância x (metros) desde o início do sulco com o tempo t_x (minutos) que a frente de avanço demorou a percorrê-la, mediante parâmetros empíricos p e r , que se obtiveram pelo já descrito método dos dois pontos com otimização iterativa.

Podem considerar-se três passos fundamentais no desenvolvimento do método: 1) cálculo da infiltrabilidade final i_f ; 2) cálculo do expoente a ; 3) cálculo do coeficiente k

A infiltrabilidade final (estabilizada) calcula-se por

$$i_f = \frac{Q_0 - Q_x}{x} \quad (3.3)$$

sendo Q_0 o módulo parcelar (constante), Q_x o caudal estabilizado,

numa fase adiantada da rega, num ponto à distância x do início do sulco.

O expoente a da equação de Kostiakov modificada (3.1) é dado por

$$a = \frac{\log \frac{M2}{M1}}{\log \frac{T2}{T1}} \quad (3.4)$$

onde $T1$ e $T2$ são os tempos de avanço para dois pontos de controlo (por exemplo 100m e 200m de distância do início do sulco); $M1$ e $M2$ relacionam os outros parâmetros intervenientes no escoamento:

$$M1 = \frac{Q0 \cdot T1}{L1} - A1 - \frac{i_f \cdot T1}{r + 1} \quad (3.5)$$

$$M2 = \frac{Q0 \cdot T2}{L2} - A2 - \frac{i_f \cdot T2}{r + 1} \quad (3.6)$$

faltando em (3.5) e (3.6) definir $A1$ e $A2$, que são as áreas médias da secção transversal respectivamente ao longo dos troços de comprimento $L1$ e $L2$ a que correspondem os tempos de avanço $T1$ e $T2$.

O coeficiente k determina-se finalmente por

$$k = \frac{M2 \cdot (a + 1)}{f \cdot T2^a} \quad (3.7)$$

de que falta apenas definir o significado de f , que é um "factor de correcção"

$$f = \frac{a + r - ra + 1}{r + 1} \quad (3.7a)$$

O expoente a na equação (3.1) varia normalmente entre 0 e 1

(mais frequentemente entre 0.2 e 0.8). Um valor superior à unidade significaria infiltrabilidade crescente e se fosse negativo significaria uma função $I=I(t)$ não monotónica crescente. Nenhuma das duas hipóteses é compatível com o conhecimento que existe do processo de infiltração da água no solo. Encontraram-se porém valores negativos de a , o que obrigou a procurar uma explicação que se apresenta em seguida e que parece mostrar uma limitação do método de Elliott e Walker.

Da equação (3.4), vê-se que a será positivo quando for $M_2 > M_1$. Despreze-se, para simplificar as expressões, o armazenamento superficial representado em (3.5) e (3.6) por A_1 e A_2 ; faça-se $L_1=100m$, $L_2=200m$ e toma-se $r=0.7$, valor frequentemente encontrado nos ensaios. Sendo os comprimentos em metros e os tempos em minutos, ter-se-á, para que seja $a > 0$:

$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{\frac{Q_0 \cdot T_2}{200} - \frac{i_f \cdot T_2}{1.7}}{\frac{Q_0 \cdot T_1}{100} - \frac{i_f \cdot T_1}{1.7}} > 1 \quad (3.8)$$

donde,

$$\frac{Q_0}{200} - \frac{i_f}{1.7} \cdot T_2 > \frac{Q_0}{100} - \frac{i_f}{1.7} \cdot T_1 \quad (3.9)$$

devendo Q_0 ser expresso em l/min e i_f em l/m.min. Pode ainda transformar-se (3.9) para melhor evidenciar a relação entre T_1 e T_2 (sempre como condição para que seja $a > 0$):

$$T_2 > \frac{\frac{1.7 Q_0 - 100 i_f}{170}}{\frac{1.7 Q_0 - 200 i_f}{340}} \cdot T_1 \quad (3.10)$$

ou ainda

$$T2 > \frac{3.4 Q0 - 200 i_f}{1.7 Q0 - 200 i_f} T1 \quad (3.11)$$

Há pois marcada dependência do expoente a para com os valores relativos dos tempos de avanço $T1$ e $T2$, assumindo importância também o valor de i_f . A fig. 3.1 ilustra como tal dependência se verificou com os valores experimentais obtidos das regas feitas em 1985. Vê-se

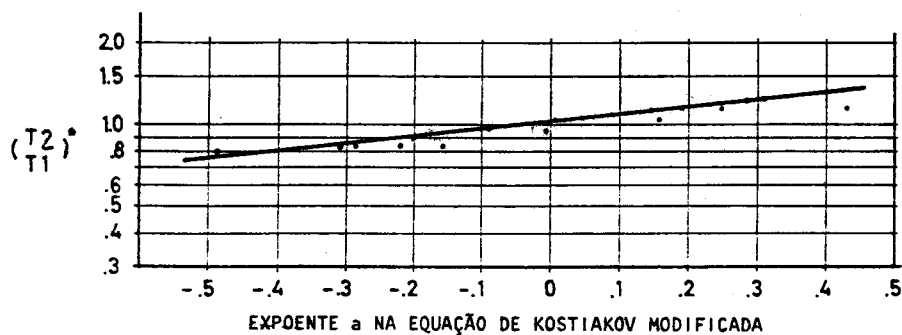


Fig. 3.1 - Dependência, verificada nos ensaios de 1985, do expoente a de Kostiaikov modificada em relação aos tempos de avanço e valores da taxa final de infiltração combinados na relação

$$(T2/T1)^* = \frac{\frac{T2}{T1}}{\frac{3.4 Q0 - 200 i_f}{1.7 Q0 - 200 i_f}}$$

que há valores negativos de a , correspondendo a casos em que o método de Elliott e Walker não é aplicável.

3.1.2. Extensão do método para outras equações

Trata-se aqui de utilizar o mesmo método de Elliott e Walker na obtenção das equações da infiltração dos tipos Kostiaikov

$$I = k t^a \quad (3.12)$$



e Philip

$$I = k t^{0.5} + Ct \quad (3.13)$$

com os significados já definidos antes. A primeira extensão, para obter os parâmetros da equação (3.12), consiste simplesmente em eliminar do procedimento a equação (3.3), isto é, supor que é nula a infiltrabilidade final. As restantes equações (3.5) a (3.6) e (3.8) a (3.11) são simplificadas com $i_f=0$

Pode então concluir-se, das equações (3.4) e (3.6), que o expoente a varia directamente com a relação entre os tempos T_2/T_1 . Tal dependência foi verificada pelos dados experimentais de 1985, como mostra a fig. 3.2.

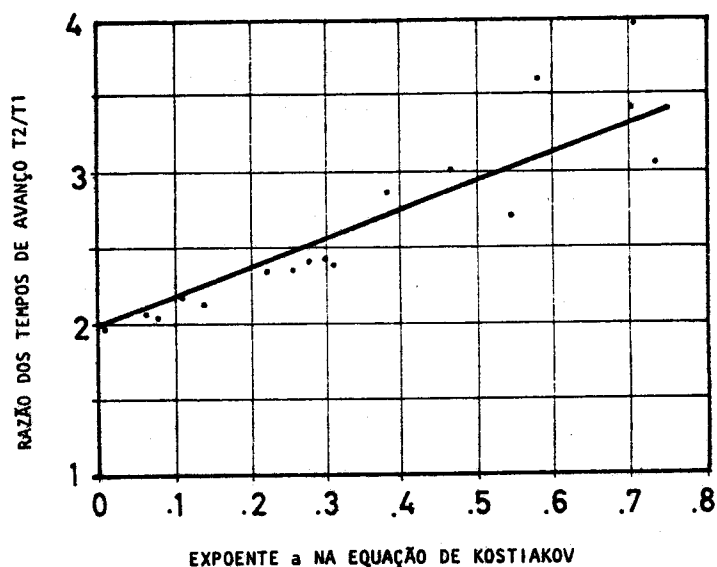


fig. 3.2 - Dependência observada do expoente a de Kostiakov em relação aos tempos de avanço

Fazendo $i_f=0$ na equação (3.11), que é uma relação aproximada, onde já se tinham desprezados os volumes à superfície, pode ver-se que o expoente a da equação de Kostiakov será positivo logo que seja $T_2 > 2T_1$, o que por norma se verificará. Assim, as equações de Kostiakov obtidas pelo método de Elliott e Walker extendido parecem

servir, melhor que a de Lewis, para a descrição da infiltração em sulcos no solo Argiluvado.

A extensão para obter a equação do tipo Philip (3.13) exige transformação do método um pouco maior que a que acaba de se descrever. Trata-se ainda de obter dois parâmetros empíricos, agora não havendo cálculo de i_f , antes se obtendo para o seu lugar o valor de C e sendo fixado para o expoente a o valor 0.5. A transformação começará na equação (3.4):

$$0,5 = \frac{\log \frac{M2}{M1}}{\log \frac{T2}{T1}} = \frac{\log \left[\frac{\frac{Q0 \cdot T2}{L2} - A2 - \frac{C \cdot T2}{r+1}}{\frac{Q0 \cdot T1}{L1} - A1 - \frac{C \cdot T1}{r+1}} \right]}{\log \frac{T2}{T1}} \quad (3.14)$$

O valor de C será tirado da equação (3.14), onde é a única incógnita. Para facilitar a exposição, simplifique-se esta equação fazendo:

$$R = 0.5 \log \frac{T2}{T1} \quad (3.15)$$

$$W1 = \frac{Q0 \cdot T1}{100} - A1 \quad (3.16)$$

$$W2 = \frac{Q0 \cdot T2}{200} - A2 \quad (3.17)$$

A equação (3.14) toma então o aspecto

$$\log \frac{W2 - \frac{C \cdot T2}{r+1}}{W1 - \frac{C \cdot T1}{r+1}} = R \quad (3.18)$$

que se pode transformar sucessivamente

$$\frac{W2 - \frac{C \cdot T2}{r + 1}}{W1 - \frac{C \cdot T1}{r + 1}} = e^R \quad (3.19)$$

$$W2 - \frac{C \cdot T2}{r + 1} = W1 \cdot e^R - \frac{C \cdot T1}{r + 1} e^R \quad (3.20)$$

$$W2 - W1 \cdot e^R = \frac{C (T2 - T1 \cdot e^R)}{r + 1} \quad (3.21)$$

e o valor procurado C será dado por

$$C = \frac{W2 - W1 \cdot e^R}{T2 - T1 \cdot e^R} (r + 1) \quad (3.22)$$

voltando-se depois a calcular por (3.6) o valor intermédio M2

$$M2 = W2 - \frac{C \cdot T2}{r + 1} \quad (3.23)$$

para obter finalmente o coeficiente k, de modo semelhante a (3.7):

$$k = \frac{1.5 \cdot M2}{f \cdot T2^{0.5}} \quad (3.24)$$

A constante C, que é função da condutividade hidráulica do solo, deverá ser positiva. Esta condição nem sempre é satisfeita pelos resultados do método de Elliott e Walker. De facto em 2/3 dos casos obtiveram-se valores negativos de C.

Procuram-se em seguida as condições em que este parâmetro será positivo. A condição $C > 0$ verificar-se-á quando ambos os termos da fracção na equação (3.22) tiverem o mesmo sinal, isto é, quando for

$$\begin{cases} W2 - W1 \cdot e^R > 0 \\ T2 - T1 \cdot e^R > 0 \end{cases} \quad \text{ou} \quad \begin{cases} W2 - W1 \cdot e^R < 0 \\ T2 - T1 \cdot e^R < 0 \end{cases} \quad (3.25)$$

A última das condições no lado direito equivale, por (3.15), a

$$\log \frac{T_2}{T_1} < 0,5 \log \frac{T_2}{T_1} \quad (3.25a)$$

o que é impossível, pois é sempre $T_2 > T_1$. Resta então o primeiro par de condições enunciadas em (3.25), das quais a segunda é verdadeira quaisquer que sejam T_1 e T_2 , pois conduz a:

$$\log \frac{T_2}{T_1} > 0,5 \log \frac{T_2}{T_1} \quad (3.25b)$$

Interessa pois desenvolver a primeira das condições (3.25)

$$\frac{Q_0 \cdot T_2}{200} - A_2 - \left(\frac{Q_0 \cdot T_1}{100} - A_1 \right) \cdot e^R > 0 \quad (3.26)$$

Para simplificar, despreza-se o armazenamento superficial representado por A_1 e por A_2 . Ter-se-á

$$\frac{Q_0 \cdot T_2}{200} > \frac{Q_0 \cdot T_1}{100} e^R \quad (3.27)$$

donde

$$0,5 \frac{T_2}{T_1} > e^R \quad \text{ou} \quad \log 0,5 + \log \frac{T_2}{T_1} > R \quad (3.28)$$

ou, entrando com (3.15) em (3.28):

$$\log 0,5 + \log \frac{T_2}{T_1} > 0,5 \log \frac{T_2}{T_1} \quad (3.29)$$

e

$$\log 0.5 > - 0.5 \log \frac{T_2}{T_1} \quad (3.30)$$

ou

$$- 0.693147 > - 0.5 \log \frac{T_2}{T_1} \quad (3.31)$$

$$\text{donde } - 1.386294 > - \log \frac{T_2}{T_1} \quad \text{ou} \quad \log \frac{T_2}{T_1} > 1.386294 \quad (3.32)$$

e finalmente,

$$\frac{T_2}{T_1} > 4 \quad \text{ou} \quad T_2 > 4.T_1 \quad (3.33)$$

Lembre-se que esta razão entre T2 e T1 é apenas aproximada, pois se desprezaram A1 e A2 em (3.26). De qualquer modo, o valor é bastante expressivo. Na maior parte dos casos ensaiados a razão entre T2 e T1 não é tão grande, resultando valores negativos para o parâmetro C, conforme já foi dito e se ilustra na fig. 3.3.

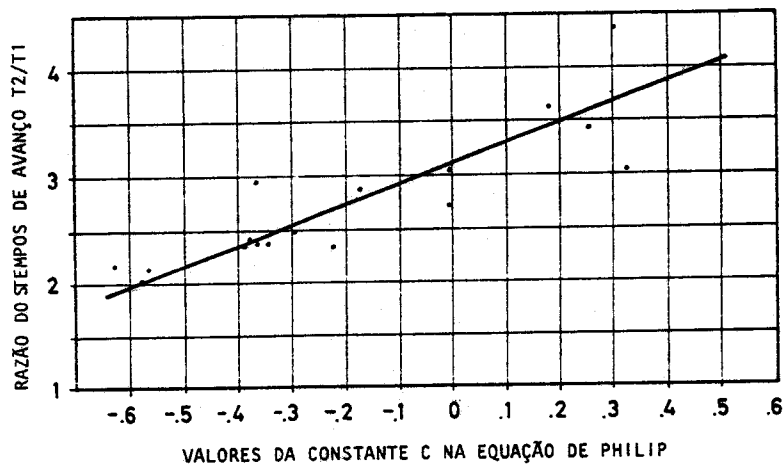


fig. 3.3 - Dependência observada da constante C de Philip em relação aos tempos de avanço

3.1.3. Aspectos específicos do avanço em sulcos em solo Argiluvado

A constituição do perfil do solo Argiluvado, com um horizonte A muito permeável de cerca de 30cm de espessura, repousando sobre um horizonte B pouco permeável, determina uma forma "sui generis" do processo de infiltração e do avanço em sulcos de rega.

Considere-se o processo de infiltração numa qualquer secção transversal. A infiltração será muito intensa durante alguns minutos iniciais, enquanto a água se infiltra no horizonte A, até quase o saturar ou até atingir um valor estabilizado da infiltrabilidade. Durante essa fase inicial, o solo comporta-se como muito permeável e o avanço é relativamente lento. A duração desta fase dependerá da espessura do horizonte A, para além do estado antecedente de humidade e das características intrínsecas do mesmo horizonte.

Atingido o horizonte B, a descida da água no perfil é praticamente travada, mas não o é a infiltração, que continua agora quase só horizontalmente. Ela irá depois diminuindo gradualmente, acompanhando o gradiente hidráulico, enquanto aumenta a distância entre a superfície livre no sulco e a frente de humedecimento. Diminuirá ainda mais, quase cessará, quando o perfil de humedecimento interferir com o devido ao sulco adjacente. A duração desta fase dependerá, para além das características já mencionadas do horizonte A, do espaçamento entre sulcos.

De início, o solo comporta-se como muito permeável e o avanço é lento. Pode dizer-se que, do caudal que chega à secção de referência, pouco sobra para avançar. Porém, logo que a frente de humedecimento atinja o horizonte B, muito ou quase todo o caudal sobra e o processo vai-se repetindo, quase com uniformidade, ao longo do sulco.

Esta é uma diferença grande em relação a um solo usual, de perfil homogéneo, onde a infiltração continuaria, fazendo perdas de

água por percolação e reduzindo gradualmente a velocidade de avanço. No Argiluviado, quase não há perda por percolação e a velocidade de avanço diminui muito pouco ao longo do sulco. A curva de avanço é assim, na maior parte dos casos, muito linear. De facto, pode ver-se no Anexo C3.1 que são próximos da unidade a maioria dos valores obtidos para expoente na equação-potência do avanço (3.2).

Este comportamento da infiltração - e do avanço - foi verificado em cerca de 2/3 dos sulcos ensaiados, aos quais correspondem curvas de avanço, como a B da Fig. 3.4.. Tal comportamento é, às vezes, quer mascarado quer acentuado por factores secundários.

Assim, em alguns (poucos) casos, a curva de avanço (curva A da Fig. 3.4) tem um aspecto mais "usual", correspondente a solos homogéneos, sendo o avanço de início relativamente rápido e tornando-se gradualmente mais lento. Estes casos estão associados ao uso de caudais elevados. O comprimento do sulco a entrar em infiltração a cada instante é maior, atenuando-se o "efeito argiluviado", aparecendo avanço e infiltração com um comportamento próximo do que seria de esperar num solo de perfil mais homogéneo que o Argiluviado.

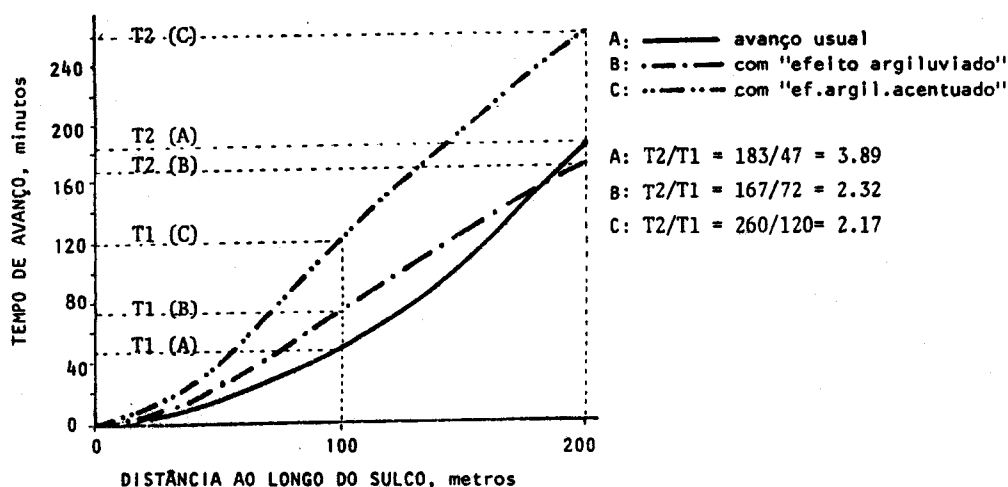


Fig. 3.4 - Exemplos de curva de avanço em sulcos sob diferente efeito observado do carácter argiluviado do solo

A ampliação do efeito "argiluvado", que se reflete num avanço muito lento e linear (curva C da Fig. 3.4), está associada ao maior espaçamento entre sulcos, eventualmente também a maior rugosidade.

A observação dos hidrogramas do escoamento abona em favor do que acabou de se dizer. De facto, verifica-se na maioria dos hidrogramas, inclusive nos dos sulcos com avanço "usual", aumento muito rápido do caudal após a chegada da água ao descarregador respectivo; após uns 90 minutos ou menos, o seu valor está estabilizado (Fig. 3.5). Tal valor é em geral próximo do módulo parcelar Q_0 , o que está de acordo com a infiltrabilidade estabilizada muito reduzida, que se referiu e se esperava.

Casos há, porém, em que tal estabilização do caudal na estação 100m é muito mais lenta ou não chega mesmo a verificar-se

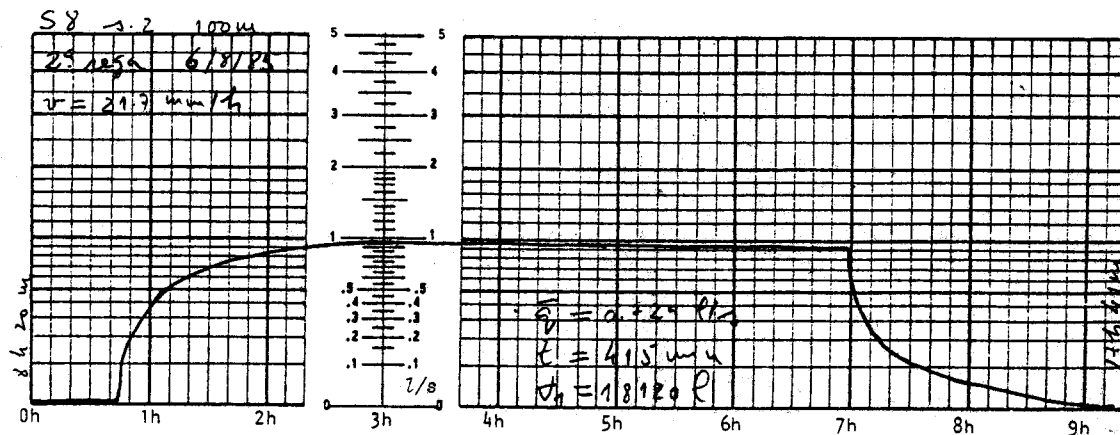


Fig. 3.5 - Hidrograma obtido na estação 100 m em sulco espaçado dos outros 0.75 m

(fig 3.6). É o que acontece quando é maior (1.5m) o espaçamento entre sulcos, demorando-se a fase de infiltração horizontal. Em tais hidrogramas, é extremamente difícil ler o valor de Q_x que sirva para o cálculo de i_f (equação 3.3). No cálculo computadorizado, i_f será facilmente tomado por excesso, relativo a um momento demasiado cedo, quando de facto a infiltrabilidade não está ainda estabilizada. Esta dificuldade de cálculo contribui também para que em muitos casos se determinem, pelo Método de Elliott e Walker, valores negativos para o expoente na equação de Kostiakov-Lewis.

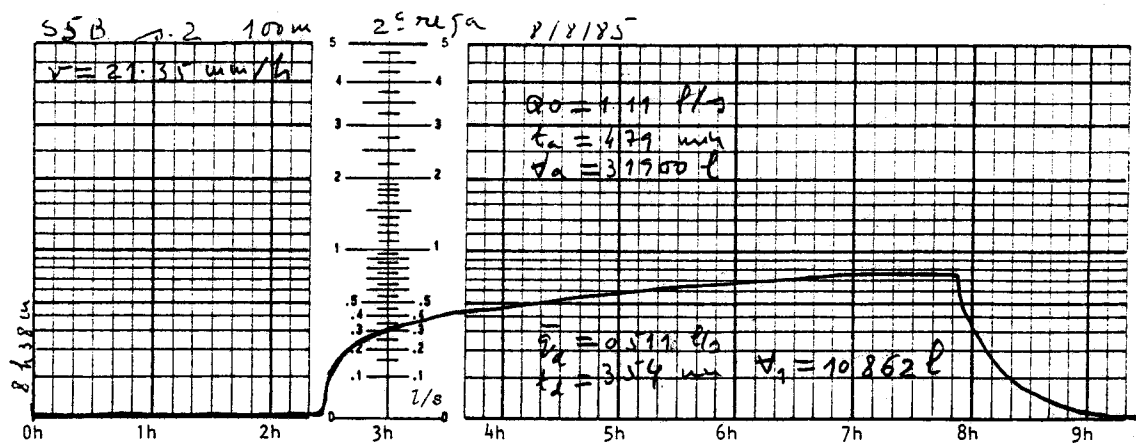


fig. 3.6 - Hidrograma obtido na estação 100 m em sulco espaçado dos outros 1.5 m

3.1.4. Aspectos específicos das equações da infiltração obtidas

Na dependência estreita das características do avanço, que se descreveram na secção anterior, as curvas de infiltração acumulada assumem aspectos específicos, que permitem tratá-las em três grupos perfeitamente distintos.

Do pequeno número de sulcos com avanço usual obtêm-se curvas

de infiltração como as da Fig. 3.7. Saliente-se que as três curvas, correspondentes às equações de Kostiakov modificada, Kostiakov e Philip, quase coincidem. Concluir-se-á que nestes casos qualquer das equações serve para descrever a infiltração em sulco.

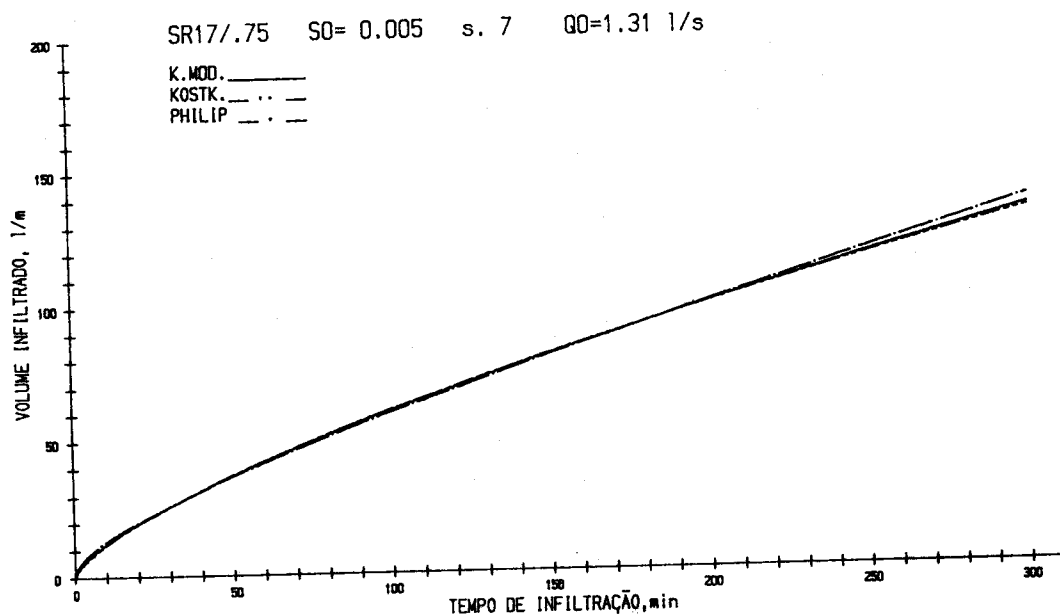


Fig. 3.7 - Curvas de infiltração em sulco com avanço "usual"

Um segundo grupo de sulcos, o mais numeroso, que manifesta o "efeito argiluvado" do avanço, tem curvas de infiltração como as que se mostram na fig.3.8. Em qualquer das três formas é saliente o aumento de I a princípio muito rápido, durante meia hora ou menos, mas logo a infiltrabilidade se estabiliza num valor muito reduzido. A este propósito saliente-se que as curvas de Kostiakov e Kostiakov modificada são quase coincidentes, quase retilíneas e muito pouco inclinadas (i muito pequeno), a partir de cerca de 90 minutos de infiltração. Já a equação de Philip, que assume valores negativos para a constante C , se afasta das outras e se torna decrescente a partir de tempos de infiltração de 120 a 200 minutos.

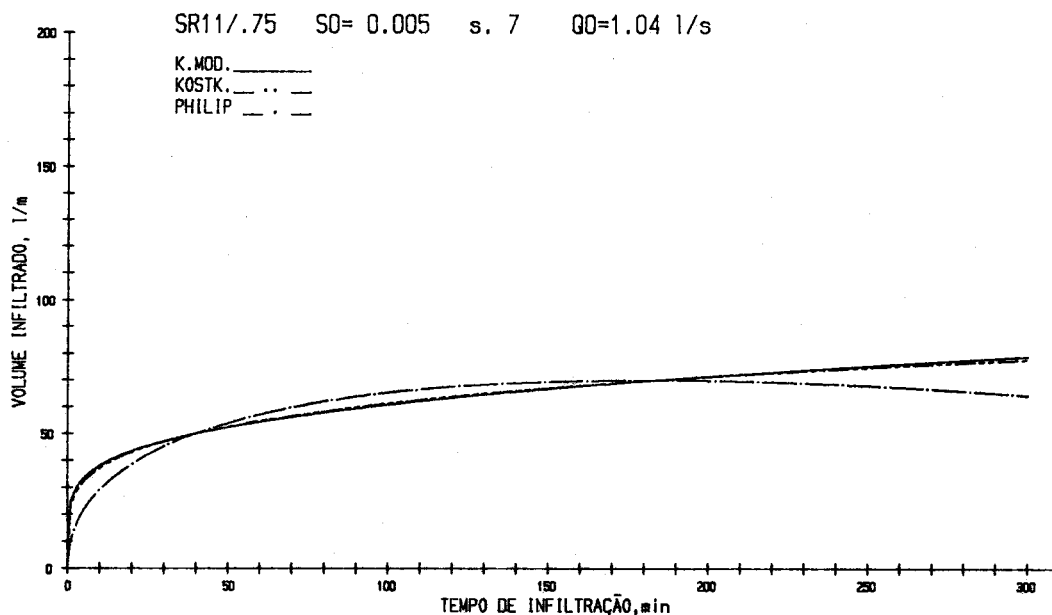


Fig. 3. 8 - Curvas de infiltração em sulco com avanço influenciado pelo carácter argiluvado do solo

No grupo de sulcos em que o "efeito argiluvado" aparece acentuado, as equações das formas de Kostiakov e de Philip têm aspecto idêntico ao que tinham no grupo anterior (fig. 3.9). Lembre-se que o acentuar do efeito se reflete sobretudo na equação de Kostiakov modificada, que adquire valores negativos para o expoente a do tempo de infiltração.

Pode ver-se que a equação não é monotónica crescente, tornando-se inadequada para descrever a infiltração, com valores absurdos para os volumes infiltrados nos primeiros minutos da rega.

Valerá a pena analisar com um pouco mais de detalhe as condições em que serão adequadas para descrever a infiltração em sulcos de rega, isto é, em que serão monotónicas crescentes, as equações de Philip e de Lewis, já que a de Kostiakov não oferece dúvidas. A de Philip será monotónica crescente se a função (3.13)

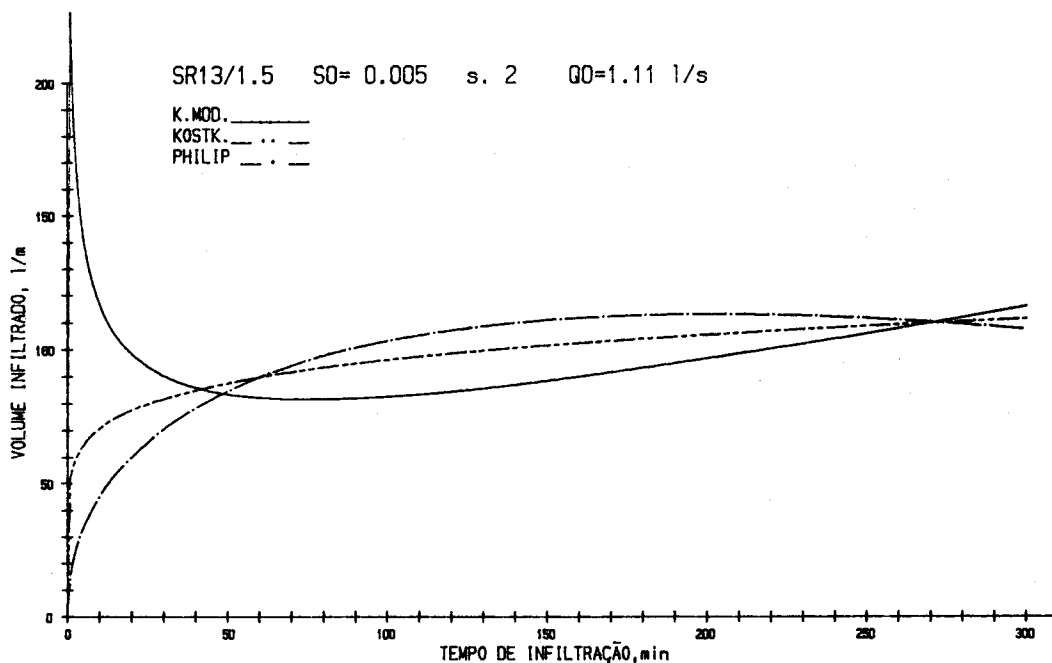


Fig. 3. 9 - Curvas de infiltração em sulco com avanço sob influência acentuada do carácter argiluviado do solo

tiver primeira derivada sempre positiva. Será

$$\frac{dI}{dt} = 0.5 k t^{-0.5} + C \quad (3.34)$$

Sendo a primeira parcela de 2º membro positiva, a condição

$$\frac{0.5k}{t^{0.5}} + C > 0 \quad (3.35)$$

verifica-se sempre que C for positivo e então a função é monotónica crescente. Porém, se é C < 0, então é preciso averiguar se é

$$\frac{0.5 k}{t^{0.5}} > |C| \text{ isto é, } 0.5 k > t^{0.5} |C| \quad (3.36)$$

o que se verificará quando for

$$k > 12 t^{0.5} C \quad \text{ou} \quad \left| \frac{k}{2 C} \right| > t^{0.5} \quad (3.37)$$

Para os cerca de 2/3 dos testes realizados em 1985 nos quais C é negativo, a condição (3.37) deixa de verificar-se para valores de t da ordem dos 120 a 200 minutos, portanto em geral dentro do tempo que dura uma rega. Isto significa que a equação de Philip obtida por extensão do método de Elliott e Walker não é adequada para descrever a infiltração em sulcos de rega nas condições do solo Argiluvado.

A equação de Lewis ou Kostiakov modificada será crescente se for positiva a derivada

$$\frac{dI}{dt} = a k t^{a-1} + i_f \quad (3.38)$$

o que se verificará sempre que for $a > 0$. Portanto, desde que o expoente a seja positivo a equação de Kostiakov modificada poderá servir. Se a for negativo, a função não é monotónica e passa a crescente só a partir de dado valor de t :

$$a k t^{a-1} > - i_f \quad (3.39)$$

donde

$$t > \left(\frac{i_f}{|a k|} \right)^{\frac{1}{a-1}} \quad (3.40)$$

Em muitos casos são bastante elevados os valores de t que não cumprem a condição (3.40), verificando por isso valores decrescentes do volume infiltrado. É exemplo o representado na fig. 3.9, em que aquela função só é crescente para valores de t superiores a 76 minutos.

Em conclusão: dos três tipos de equação da infiltração obtidos a partir dos dados de avanço das regas extendendo o método

do balanço volumétrico de Elliott e Walker, só a de Kostiakov se adapta sem problemas a todos os casos ensaiados de sulcos de rega em solo Argiluvado. A de Kostiakov modificada pode usar-se, desde que seja positivo o expoente. A de Philip não se adapta à descrição da infiltração nas condições de rega estudadas.

No Anexo C3.1 estão as equações obtidas das segunda, terceira e quarta regas de 1985, mencionando-se as principais características das modalidades de que se obtiveram. Dele se extraiu, para elaborar o Quadro 3.1, a informação relativa apenas às equações de Kostiakov.

QUADRO 3.1

EQUAÇÕES DE KOSTIAKOV OBTIDAS DO BALANÇO VOLUMÉTRICO DAS REGAS MÉTODO DE ELLIOTT E WALKER EXTENDIDO

Entre parêntesis, o módulo parcelar respectivo, l/s.sulco

SO	Sulco	W (m)	SR	REGAS TR	BR	Aspecto do Avanço
.008	2	.75	15.878 t.279 (1.1)	18.915 t.251 (1.1)	12.125 t.310 (1.1)	A
.008	5	.75	41.646 t.116 (1.2)	21.121 t.310 (1.6)	20.27 t.301 (1.5)	A
.005	7	1.5	65.610 t.059 (1.3)	70.748 t.036 (1.5)	--	AA
.005	11	.75	22.388 t.218 (1.1)	39.27 t.071 (1.0)	--	A
.005	13	1.5	51.97 t.314 (1.1)	14.279 t.382 (1.2)	--	AA/A
.005	17	.75	2.353 t.706 (1.3)	2.342 t.731 (1.5)	6.607 t.541 (1.6)	U
.002	19	.75	3.052 t.693 (1.5)	11.418 t.465 (2.3)	7.558 t.577 (2.2)	U

Note-se que excepto nos casos de avanço qualificado como "usual" (U), os coeficientes são relativamente grandes e os expoentes pequenos, tanto mais quanto mais linear foi o avanço. Isto significa, é claro, uma infiltração inicialmente grande, diminuindo muito rapidamente.

Em vários casos nota-se que este efeito do avanço, que se designou "argiluvado" (A) e "acentuado" (AA), diminuiu quando se aumentou o módulo parcelar, do que resultou um avanço inicialmente mais rápido. Não será descabido esperar que outros factores que facilitem o avanço, nomeadamente um calcamento e regularização dos sulcos (por exemplo pelas rodas do tractor ou por equipamento próprio) ou o método de "surge-flow", conduzam a efeito semelhante sobre o avanço e a infiltração. Contudo, as equações obtidas serão predominantemente do tipo designado por A (fig. 3.8).

3.2. EQUAÇÕES OBTIDAS DOS TESTES EM INFILTRÓMETROS

Usaram-se os infiltrómetros de sulco bloqueado e de sulco com retorno. Em qualquer dos métodos, as leituras foram feitas com periodicidade semelhante. No início do teste tinha-se já registado a leitura do nível inicial da água no depósito e anotava-se então o tempo de relógio (aproximação ao minuto) de início do teste. Os intervalos entre leituras foram cerca de 5 minutos durante a primeira hora e cerca de 10 minutos no tempo restante. A maior parte dos testes durou cerca de 4 horas.

3.2.1. Tratamento dos dados

3.2.1.1. Equações procuradas

Os pares de dados de campo (tempo, nível da água no depósito) foram registados e "armazenados" em suporte magnético do Centro de Computação da Universidade de Évora (Anexos D3 e D4), para posterior processamento. Deste faz parte a regressão para equações da infiltração, nomeadamente: a de Kostiakov, a de Lewis ou Kostiakov modificada, a de Horton, a do "Soil Conservation Service" e a de Philip.

A equação de Horton só foi considerada no primeiro ano de ensaios (1983), em virtude de se ajustar muito mal aos dados de campo. As especiais limitações da equação do "Soil Conservation Service", já salientadas, levaram a dar-lhe menor importância, pelo que acabou por se tratar essencialmente dos três restantes tipos de equação da infiltração.

3.2.1.2. Métodos de regressão

Encontram-se na bibliografia três métodos de fazer a regressão dos dados experimentais para as equações da infiltração: o conhecido método dos mínimos quadrados, o "dos dois pontos" e o que Blair e Redell (1983) chamam "de otimização exacta". Referem-se brevemente os dois últimos, lembrando que eles foram tratados em 1.2.5..

O método "dos dois pontos", descrito por Walker e Skogerboe (1982), considera que a equação que se pretende obter há-de ser verificada por dois dos pares (tempo, volume infiltrado) determinados no teste. Assim, por exemplo para a equação de Kostiakov

$$I = k t^a \quad (3.12)$$

em que I é o volume infiltrado, t é o tempo decorrido desde o início do teste e k e a são os parâmetros empíricos que se pretende determinar, será, relativamente a dois pontos 1 e 2 da curva:

$$I_1 = k t_1^a \quad (3.41)$$

$$I_2 = k t_2^a$$

Dividindo membro a membro, vem:

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{t_1}{t_2} \right)^a \quad (3.42)$$

Como os valores de I e de t são conhecidos, obtém-se a. Depois, numa das equações anteriores, obtém-se k.

O "método de otimização exacta" tem a mesma base do que se acaba de descrever. Fixa-se um dos pontos e, por iterações

sucessivas, considera-se como segundo ponto da curva cada um dos outros, determinando-se k e a ; usando-os, calcula-se toda a curva e o somatório do quadrado dos desvios entre os dados de campo e os correspondentes valores calculados. Retêm-se apenas os valores de k e a que conduzem à menor soma do quadrado dos desvios. Repete-se o processo fixando de cada vez outro dos pontos, combinando-o com todos os restantes. Escolhe-se finalmente a combinação que minimizou a soma do quadrado dos desvios.

3.2.2. Ajustamento das equações aos dados de campo

3.2.2.1. Critérios de comparação

Os valores do coeficiente de correlação ou do coeficiente de determinação (r^2), são quase sempre valores muito elevados, perto da unidade. Se por um lado isto traduz bom ajustamento das equações aos dados dos testes, por outro dificulta a comparação entre elas com vista a escolher para uso posterior a(s) que ofereça(m) maior confiança. Outro critério para fazer tal escolha baseia-se no que se designará "SQD"; é a soma do quadrado dos desvios, entre os valores observados no campo e os calculados, para os mesmos valores do tempo de infiltração, por cada uma das equações.

A representação gráfica permite uma observação cómoda do ajustamento das curvas calculadas aos dados observados nos testes de campo. O processo é no entanto limitado, porque não quantifica o ajustamento e porque é trabalhoso, mesmo com recurso a facilidades gráficas do equipamento de computação. A fig. 3.10 é uma de tais representações.

Refira-se finalmente que o critério decisivo para a escolha de uma equação será a sua capacidade de representar o processo de infiltração na rega: um modelo matemático do escoamento, incorporando a equação em teste, simulará a rega; será melhor a equação de infiltração que estiver incorporada no modelo quando for

melhor o ajustamento entre as características da rega simuladas e as observadas. Mas isto é assunto do capítulo 4. Aqui interessa comparar as equações com os dados que as geraram.

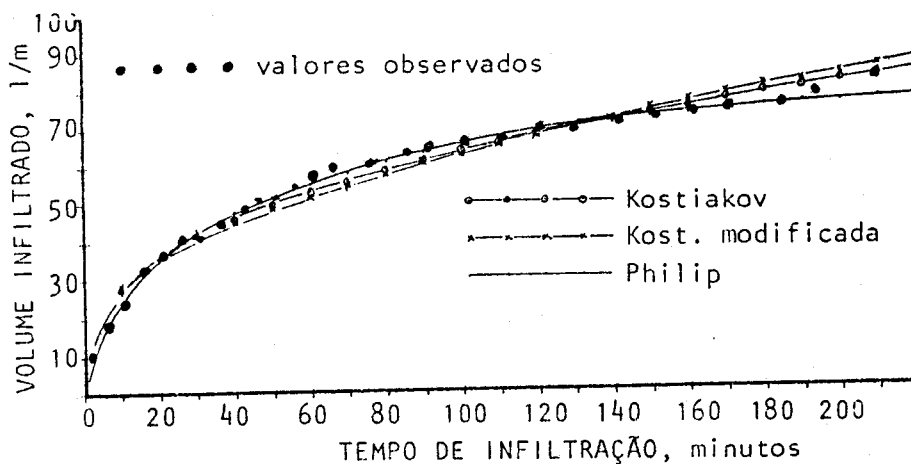


Fig. 3.10 - Ajustamento, aos dados de campo dum teste de infiltração, das curvas de Kostiakov, Kostiakov modificada e Philip

3.2.2.2. Escolha das equações e do método de regressão

No Quadro 3.II estão resumidos os resultados de 29 testes de infiltração em sulco bloqueado feitos em 1983 (segunda "rega", Anexo C3.2). Estão em comparação três equações - Kostiakov, Kostiakov modificada e Horton - e três métodos de regressão - "mínimos quadrados", "otimização" e "dois pontos". Este último método só é considerado para a equação de Kostiakov modificada. A de Horton só foi obtida pelo método dos mínimos quadrados.

O critério de comparação foi o valor da soma do quadrado dos desvios. Os números do quadro são o número de vezes, dentro das 29 comparações, que a combinação equação - método de regressão figurou

na ordem de ajustamento (I a VI) respectiva. Por exemplo na primeira linha do quadro lê-se que a equação de Kostiakov obtida pelo método dos mínimos quadrados foi a melhor ajustada aos dados de campo em 6 das 29 comparações, figurou 11 vezes em 2º lugar (II), 2 vezes em 3º (III), etc.

QUADRO 3.II

ORDEM DE AJUSTAMENTO DE EQUAÇÕES DA
INFILTRAÇÃO A DADOS DE CAMPO
(Infiltrômetros de sulco bloqueado)
1983

EQUAÇÃO, método de regressão	ORDEM DE AJUSTAMENTO						TOTAL	VALORES PONDERADOS
	I	II	III	IV	V	VI		
KOSTIAKOV, mínimos quadrados	6	11	2	1	3	6	29	114
KOST. mod. " "	0	3	10	7	7	2	29	92
KOST. mod., dois pontos	0	1	5	8	13	2	29	77
KOSTIAKOV, otimização	23	5	0	1	0	0	29	166
KOST. mod., "	0	7	10	9	1	2	29	106
HORTON, mínimos quadrados	0	2	2	3	5	17	29	54

Os números da última coluna do quadro fazem uma síntese das colunas anteriores, ponderando cada uma com valor inversamente proporcional à sua ordem, isto é, dando peso 6 aos valores da coluna 1, peso 5 aos da coluna 2, etc.; multiplicou-se cada frequência pelo peso da respectiva coluna; o "valor ponderado" é a soma dos produtos (frequência x peso) de cada linha.

Vê-se que a equação de Kostiakov obtida por otimização iterativa, é a que melhor se ajusta em 23 dos 29 casos, ficando em 2º lugar em 5 outros e cabendo-lhe o valor síntese 166, bastante maior que qualquer outro.

Ainda do Quadro 3.II e do Anexo C3.2 podem tirar-se duas outras conclusões: a) O método dos dois pontos conduz a muito maus resultados, ao contrário do que referem Walker e Skogerboe (1982); b) A equação de Horton não serve para representar a infiltração em

sulcos, pelo menos nas condições experimentadas. Como consequência, deixou de se usar o método dos dois pontos e de se considerar a equação de Horton.

Finalmente todos os dados obtidos nos infiltrômetros de sulco, 1983 a 1985, foram processados com um novo programa (INFILTR3, Anexo B3.2), usando apenas o método de otimização exacta e considerando as equações de Kostiaikov, de Lewis e de Philip. Os resultados constituem os Anexos C3.3 a C3.6. Resumindo-os, obtém-se o Quadro 3.III.

QUADRO 3.III

ORDEM DE AJUSTAMENTO (MENOR SDD) DAS EQUAÇÕES DA
INFILTRAÇÃO AOS DADOS DE CAMPO
(equações obtidas por otimização exacta)

1983 (BLQ)	Nº de vezes que se ajustam em cada ordem								VALORES PONDERADOS
	1a REGA				2a REGA				
	ORDEM				ORDEM				
	I	II	III	TOTAL	I	II	III	TOTAL	
KOSTIAKOV	34	1	3	38	24	4	2	30	189
KOST. MODIF.	3	24	11	38	6	10	13	30	119
PHILIP	1	15	23	38	5	15	10	30	111

1984 (RTN)	ORDEM				VALORES PONDERADOS
	I	II	III	TOTAL	
KOSTIAKOV	3	3	4	10	19
KOST. MODIF.	5	1	4	10	21
PHILIP	2	6	2	10	20

1985 (BLQ)	1a REGA				2a REGA				3a REGA				VALORES PONDERADOS
	ORDEM				ORDEM				ORDEM				
	I	II	III	TOTAL	I	II	III	TOTAL	I	II	III	TOTAL	
KOSTIAKOV	3	4	0	7	3	4	0	7	2	5	0	7	50
KOST. MOD.	0	0	7	7	0	0	7	7	0	1	6	7	22
PHILIP	4	3	0	7	4	3	0	7	5	1	1	7	54

1985 (RTN)	1a REGA				2a REGA				3a REGA				VALORES PONDERADOS
	ORDEM				ORDEM				ORDEM				
	I	II	III	TOTAL	I	II	III	TOTAL	I	II	III	TOTAL	
KOSTIAKOV	3	4	1	8	4	4	0	8	3	3	1	7	54
KOST. MOD.	1	2	5	8	0	2	6	8	2	1	4	7	34
PHILIP	4	2	2	8	4	2	2	8	2	3	2	7	50

Pode ver-se que a equação simples de Kostiakov continua a ser a que melhor se ajusta aos dados de 1983. A ordenação relativa aos dados de 1984 e 1985 é, menos nítida que a anterior, excepto para a equação de Lewis, que se ajustou mal aos dados de 1985.

Em resumo, dos três tipos de equação, a de Lewis é a que pior se ajusta aos dados de infiltrómetros, não sendo nítida a diferenciação entre as possibilidades das de Kostiakov e de Philip. No entanto, sempre que a equação de Philip é a melhor ajustada, acontece também que o terceiro parâmetro da equação é muito pequeno. Nessa altura, a equação é parecida com a de Kostiakov.

3.2.3. Influência do perímetro molhado

Ao tratar em separado os testes que constituem cada um dos "ensaios de infiltração" verificou-se haver, dentro de cada ensaio, uma notável variabilidade dos parâmetros que definem as equações, mesmo quando estas descrevem situações de infiltração tomadas como semelhantes. Facilmente se constata isto ao observar os quadros que contêm as equações obtidas (Anexos C3.1 a C3.6). Esta constatação nada tem de surpreendente, sabendo-se quão variável e diversamente influenciado é o fenómeno da infiltração. Por isso cada ensaio se constituiu de um número grande de repetições.

Na presente secção estuda-se a influência do perímetro molhado, PM. Em virtude de, como se viu, a equação de Kostiakov ser de entre as experimentadas a que melhor representa o processo de infiltração em sulcos em solo Argiluvado, este é o tipo de equação que aqui se considera.

Admitindo que os volumes infiltrados I em dado tempo hão-de ser proporcionais ao perímetro molhado PM, como referem alguns autores (Fangmeier e Ramsey, 1978; Strelkoff e Souza, 1984) pode

fazer-se o seguinte raciocínio. Dividindo cada valor de I pelo respectivo PM, obter-se-ão valores de $Z = I/PM$ que, por regressão, forneçam uma equação do tipo

$$Z = k_p \cdot t^{ap} \quad (3.43)$$

Esta equação ajustar-se-á melhor que

$$I = k t^a \quad (3.12)$$

ao conjunto dos pares de valores (infiltração acumulada, tempo) obtidos em infiltrómetro com qualquer PM e em igualdade de outras condições, nomeadamente de espaçamento entre sulcos.

Para verificar a hipótese, transformaram-se pois os valores de $I=I(t)$ obtidos nos vários testes de cada ensaio. Lembre-se que em cada teste de infiltrómetro se manteve o valor de PM, mas esse valor foi feito variar de um para outro teste dentro do mesmo ensaio. A transformação consistiu então em dividir cada valor de I pelo valor de PM com que fora determinado, obtendo-se valores de $Z=Z(t,PM)$. Seguidamente estes foram regredidos para equações do tipo (3.43).

Os resultados que se obtiveram estão contidos no Quadro 3.IV o qual compara os dois tratamentos por cada ensaio: o designado "I" consiste na obtenção da equação do tipo (3.12); o designado "Z" consiste na regressão dos correspondentes valores de $Z = I/PM$ para equações do tipo (3.43).

QUADRO 3.IV

EFEITO DO PERÍMETRO MOLHADO NA EQUAÇÃO DA INFILTRAÇÃO

ENSAIO	TRATAMENTO	KOSTIAKOV		COEF. CORREL. r
		k	a	
BLQ 83 P s.15	I	1.737	.819	.886
	Z	5.592	.830	.932
BLQ 83 S s.15.	I	1.723	.806	.834
	Z	5.484	.808	.882
RTN 84 W=1.5	I	4.569	.629	.820
	Z	16.912	.634	.807
BLQ 85 W= .75	I	4.356	.569	.861
	Z	14.675	.566	.824
BLQ 85 W=1.5	I	3.314	.685	.909
	Z	10.830	.691	.924
RTN 85 W= .75	I	7.087	.491	.764
	Z	23.962	.482	.775
RTN 85 W=1.5	I	7.324	.633	.812
	Z	22.659	.645	.774

A primeira constatação é que o expoente a se mantém quase inalterado. Quer dizer: o perímetro molhado não tem influência na forma da curva de infiltração. A influência há-de então traduzir-se na relação entre os coeficientes k e k_p . Quer dizer, parece haver de facto proporcionalidade entre os valores da infiltração expressos nas duas formas - os originais $I=I(t)$ e os correspondentes transformados, $Z=Z(t, PM)$.

Por outro lado, verifica-se na maioria dos casos que a correlação entre os valores transformados e o tempo é melhor que a correspondente aos dados originais.

Parece pois poder concluir-se que, também para os sulcos em solo Argiluvado e de modo semelhante ao observado por outros autores, a influência das dimensões da secção transversal nos volumes infiltrados se pode traduzir razoavelmente bem pelo valor do perímetro molhado através do qual se dá a infiltração.

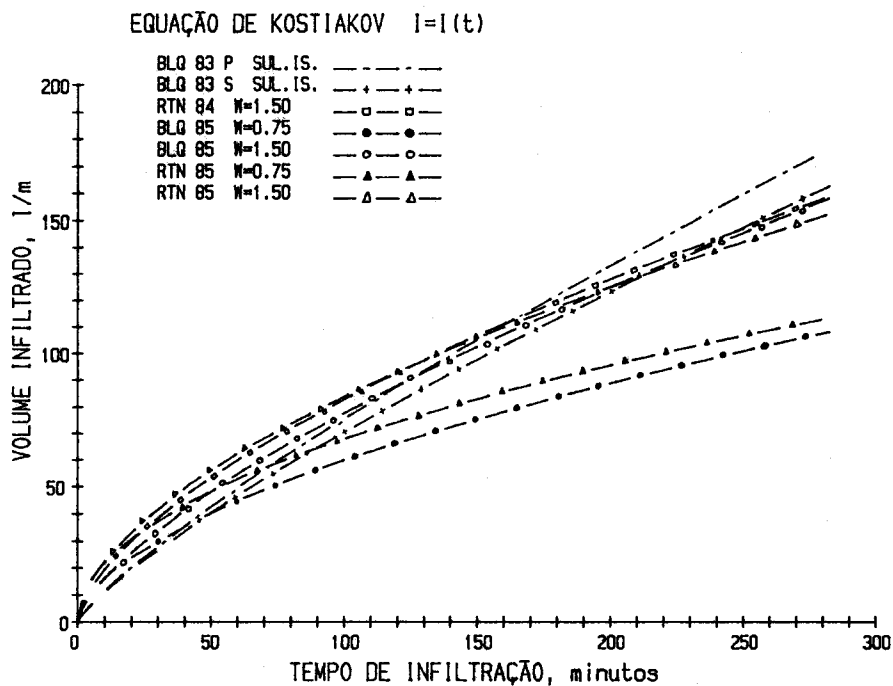


Fig. 3.11 - Comparação das equações médias dos vários ensaios; equações tipo $I=I(t)$

A Fig. 3.11 mostra o comportamento das curvas $I=I(t)$ e a Fig. 3.12 o da correspondente "com PM" ou $Z=Z(t, PM)$.

A linearidade da dependência de I em relação a PM tem aplicação prática importante: em alguns testes de infiltração, realizados com um qualquer valor, conhecido, de perímetro molhado, determina-se a equação da infiltração; esta pode depois generalizar-se a quaisquer valores de PM .

Assim, a equação "usual" de Kostiakov obtida num dado ensaio seria

$$I_e = k_e t^a \quad (3.44)$$

mas se os valores de infiltração acumulada forem antes divididos pelos respectivos valores de PM_e , obter-se-á a equação

$$Z_e = k_p \cdot t^a \quad (3.45)$$

De acordo com a dependência que atrás se observou, k_e de (3.44) será

$$k_e = k_p \cdot PM_e \quad (3.46)$$

e (3.44) poderá escrever-se

$$I_e = k_p \cdot PM_e \cdot t^a \quad (3.47)$$

Generalizando, para qualquer caso, com qualquer valor de PM, será:

$$k = k_p \cdot PM \quad (3.48)$$

e

$$I = k_p \cdot PM \cdot t^a \quad (3.49)$$

Interessa pois obter dos ensaios a equação do tipo (3.45), que posteriormente se transformará de acordo com (3.49).

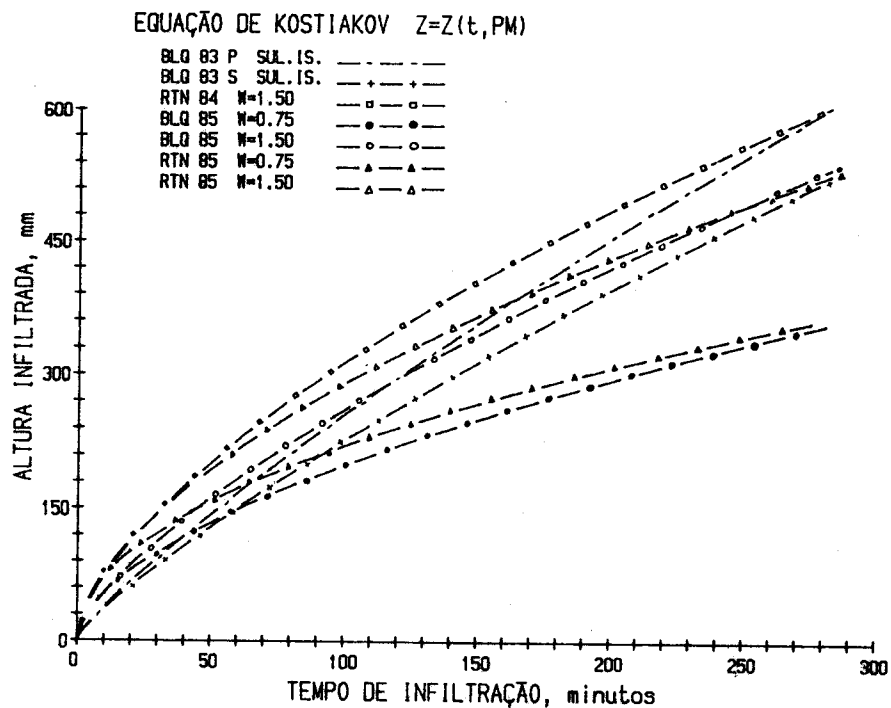


Fig. 3.12 - Comparação das equações médias dos vários ensaios; equações do tipo $Z=Z(t,PM)$

3.2.4. Influência de outros factores

Foi dito no capítulo anterior que se procurou neutralizar nos ensaios de infiltração em infiltrómetros alguns dos factores influentes no processo. Procurou-se por exemplo que o teor de água no solo fosse aproximadamente o mesmo em qualquer dos ensaios; eles foram por isso realizados no Verão, espaçando as "regas" de modo a que o referido teor se restabelecesse no valor inicial. Procurou-se dominar a variabilidade espacial fazendo um número grande de testes espaçados no terreno, de modo a cobrir uma grande área da série Paq em estudo.

Outros factores foram, pelo contrário, obrigados a variar, para que se pudesse observar-lhes e eventualmente medir-lhes os efeitos; foram os casos de: o espaçamento entre sulcos w , o tipo de infiltrómetro e a ordem de rega.

3.2.4.1. Espaçamento entre sulcos

Os testes de infiltração dos ensaios de 1983 foram feitos em sulcos isolados, isto é, suficientemente espaçados para garantir que as respectivas frentes de humedecimento não se interferem. Em 1984 no infiltrómetro de sulco com retorno, cada teste era constituído por 3 troços de sulco paralelos, equidistantes 1.5m, dos quais só o do meio forneceu dados para interpretação. Pretendeu-se assim reproduzir as condições usuais de infiltração durante a rega, com interferência mútua das frentes de humedecimento de sulcos colaterais. O esquema repetiu-se nos ensaios de 1985, com dois valores de espaçamento, 0.75m e 1.5m, num número maior de testes, quer de infiltrómetro de sulco bloqueado, quer com retorno.

Nas figs. 3.11 e 3.12 estão as curvas das equações gerais obtidas de tais ensaios, respectivamente "usual" e "com PM". Note-se a separação nítida das duas curvas referentes aos ensaios com espaçamento de 0.75m entre sulcos, com menores valores de

infiltração acumulada e estabilização mais rápida da "taxa" de infiltração. Acima agrupam-se as curvas referentes aos ensaios em que os espaçamentos eram maiores.

As curvas do ensaio de 1983, em que os sulcos eram isolados, tendem ainda a superiorizar-se, sobretudo para os tempos de infiltração longos. Quer isto dizer que são maiores os valores de infiltração acumulada nos sulcos isolados, decrescendo a infiltrabilidade muito lentamente, apenas por aumento da distância a que se vai situando a frente de humedecimento. Aliás, esta constatação é coerente com as condições específicas da infiltração em solo Argiluviado, que já houve ocasião de analisar.

A influência do espaçamento entre sulcos no processo de infiltração é uma das que não se podem quantificar. Ela fica porém bem evidenciada e deve concluir-se que a determinação de equações a usar em qualquer simulação das regas se deve basear em ensaios feitos em sulcos espaçados como se pretende que sejam os verdadeiros sulcos de rega.

3.2.4.2. Tipo de infiltrómetro

É fácil constatar pela simples observação das figuras 3.11 e 3.12, que os volumes infiltrados nos testes em infiltrómetros com retorno são sempre maiores, em igualdade de outras circunstâncias nomeadamente de espaçamento, aos infiltrados nos infiltrómetros de sulco bloqueado. Esta conclusão está de acordo com comparações semelhantes feitas pelos autores que criaram o infiltrómetro de sulco com retorno (Malano, 1982; Walker e Skogerboe, 1982). Dizem estes autores que os dados do infiltrómetro de sulco com retorno são sempre mais fiáveis e conduzem a simulação do escoamento em sulcos de rega melhor que os dados do infiltrómetro de sulco bloqueado.

3.2.4.3. Ordem de rega

Em 1983 e em 1985 repetiram-se os testes nos mesmos troços de sulcos experimentais e tanto quanto possível mantendo as restantes condições. É a tais repetições no tempo que se chama "regas" com as respectivas ordens: primeira, segunda e terceira. Em 1983 foram feitas duas "regas", a primeira designada por P e a segunda por S a seguir à sigla que designa o ensaio. Em 1985 foram feitas três "regas", designadas por P, S e T, tanto no ensaio em infiltrómetro de sulco bloqueado como no com retorno.

Os resultados de 1983 estão já, nas Figs. 3.11 e 3.12, separados pelas duas regas, sendo nitidamente menores os valores de infiltração acumulada na segunda. Quando foram feitas três regas, em 1985, a terceira diferiu da segunda muito menos do que esta diferiu da primeira. Este comportamento, aliás análogo ao das regas propriamente ditas, era esperado, já que a primeira rega é que introduzirá modificações significativas na superfície infiltrante, inclusive na estrutura do solo e portanto na porosidade. A Fig. 3.13 ilustra o referido comportamento.

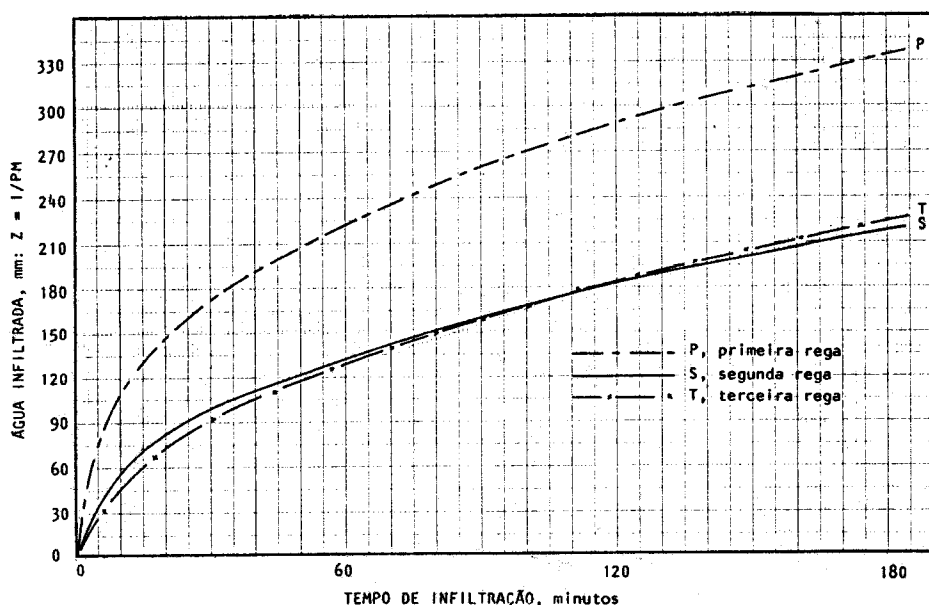


Fig. 3.13 - Influência da ordem de rega na infiltração

3.3. CONCLUSÕES

O Quadro 3.V contém, com o aspecto dado por (3.49), as equações da infiltração em sulcos que se apresentam como as mais representativas das várias situações experimentadas. Os Anexos C3.1 a C3.6 constituem uma listagem mais completa, ainda que não exaustiva, das equações da infiltração obtidas.

QUADRO 3.V

EQUAÇÕES DA INFILTRAÇÃO (KOSTIAKOV)
REPRESENTATIVAS DAS SEGUNDAS REGAS E SEQUITES

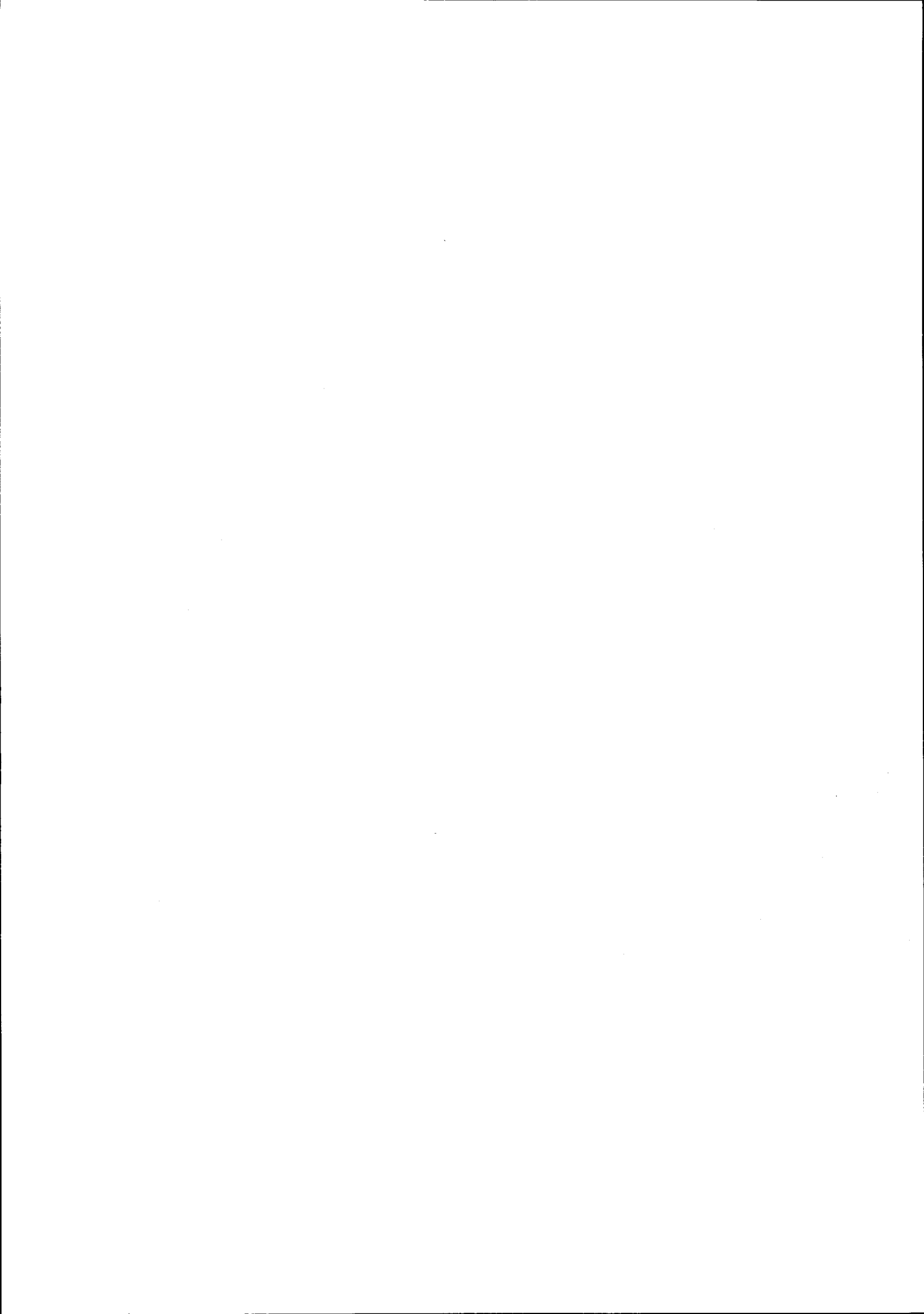
MÉTODO DE OBTENÇÃO	ENSAIO Mod. l/s	Rega	m ESPAÇAM. SULCOS	PM PER.MOLHADO Médio (*)	EQUAÇÃO $I = k_p PM t^a$ (**)	CLASSIFIC. (***)
BALANÇO	S8 1.1	SR 2	.75	.241	$I = 65.884 PM.t^{-.279}$	A
VOLUME-TRICO	S8 1.2	SR 5	.75	.266	$I = 156.564 PM.t^{-.116}$	AA
DAS RE_	SSA 1.3	SR 7	1.5	.243	$I = 270.0 PM.t^{-.059}$	AA
GAS DE	SSB 1.0	SR11	.75	.270	$I = 82.919 PM.t^{-.218}$	A
	SSB 1.1	SR13	1.5	.174	$I = 298.678 PM.t^{-.134}$	AA
	1985 SSB 1.3	SR17	.75	.351	$I = 6.704 PM.t^{-.706}$	U
(3.1)	S2 1.6	SR19	.75	.335	$I = 9.110 PM.t^{-.693}$	U
INFIL-	BLQ 83	S	-	.330	$I = 5.484 PM.t^{-.808}$	
TRÔME-	BLQ 85	S+T	1.5	.299	$I = 10.551 PM.t^{-.636}$	
TROS DE	RTN 85	S	1.5	.314	$I = 27.825 PM.t^{-.490}$	
SULCO	BLQ 85	S+T	.75	.300	$I = 12.295 PM.t^{-.531}$	
(3.2)	RTN 85	S	.75	.308	$I = 21.234 PM.t^{-.507}$	

(*) Média dos valores medidos nos infiltrómetros ou, no caso das regas, na estação de 100m, com débito aparentemente estabilizado.

(**) No caso das equações obtidas pelo método do balanço volumétrico (3.1), os valores de k_p mencionados foram obtidos dividindo pelos valores de PM mencionados à esquerda os valores de k obtidos no desenvolvimento do método.

(***) Classificação das formas de avanço:

U = usual; A = sob "carácter argiluvado"; AA = idem acentuado.



CAPÍTULO 4

ANÁLISE COMPARATIVA DAS EQUAÇÕES DA INFILTRAÇÃO

O capítulo é composto de duas secções em cada uma das quais se testam, por métodos diferentes, as equações da infiltração determinadas no capítulo anterior.

Na primeira secção verifica-se o balanço volumétrico das regas mediante a incorporação da equação a testar num programa de computação. Calculam-se por esse meio alguns volumes de controlo - nomeadamente os volumes infiltrado e excedente - e comparam-se com os volumes equivalentes medidos no ensaio. A fiabilidade da equação testada é traduzida pelo grau de acerto entre os volumes infiltrados calculado e medido.

Na segunda secção, as equações são comparadas pelos resultados a que conduzem quando incorporadas num modelo matemático do escoamento. Trata-se de um modelo de onda cinemática, elaborado por Walker (1984). O critério para traduzir a fiabilidade das equações baseia-se no erro relativo, calculado a partir dos valores medidos e calculados, quer dos tempos de avanço, quer dos de recessão.

4.1. BALANÇO VOLUMÉTRICO DAS REGAS

A análise que se faz nesta secção utiliza muito directamente alguns conceitos basilares da rega por escorrimento, pelo que vale a pena lembrá-los aqui, bem como alguma terminologia que lhes está associada.

A fig. 4.1 é um diagrama espaço-tempo da rega por escorrimento, destacando-se aí as quatro fases e os tempos característicos. O "tempo de avanço" correspondente a qualquer comprimento x está designado por t_x e o tempo de avanço até ao fim da parcela (comprimento L) está designado por t_L . Este pode tomar o nome especial de "duração da fase de avanço".

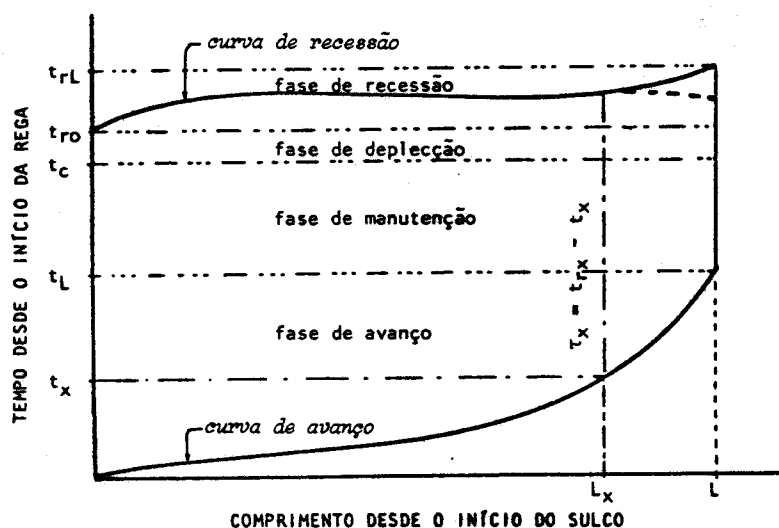


Fig. 4.1 - Fases da rega por escorrimento em sulco

Outros tempos característicos representados são: o "de alimentação", t_a ; o "de início de recessão", t_{ro} ; e o "de fim da recessão", t_{rL} , que coincide com o fim da rega.

Relativamente a qualquer ponto da parcela, à distância genérica x do seu início, calcula-se o "tempo de infiltração" T_x como a diferença entre os respectivos tempos de recessão e de avanço

$$T_x = t_{rx} - t_x \quad (4.1)$$

4.1.1. Programa de Cálculo do Balanço Volumétrico

O cálculo do balanço volumétrico é feito mediante um programa de computação que se designou ANREGA (Anexo B4.1), elaborado com o objectivo, mais amplo, de fazer uma análise global das regas. Em suporte magnético estão registados, relativamente a cada teste de rega, sulco por sulco, os valores de base - identificação do sulco, caudais, elementos da geometria da secção transversal - bem como os volumes medidos, nomeadamente no início e no fim do sulco (V_p), e ainda os tempos de avanço e de recessão (Anexo D). O programa lê e selecciona os valores correspondentes ao sulco e à rega pretendidos, usando-os como a seguir se descreve.

Entrando com o valor de τ_x (minutos), calculado por (4.1), na equação da infiltração em teste, determina-se a dotação correspondente, isto é, a quantidade de água que se terá infiltrado num ponto da parcela à distância x do seu início. Cálculos idênticos se podem fazer para diversos pontos ao longo da parcela. Note-se que a infiltração acumulada se exprime em l/m de comprimento de sulco, de acordo com as equações da infiltração tratadas no capítulo anterior. As dotações serão agora expressas nas mesmas unidades.

Se forem N os valores de dotação calculados e se cada um deles, D_i , corresponder a um valor de x , calcula-se a dotação média na parcela por

$$D = \frac{\sum_{i=1}^N D_i}{N} \quad (4.2)$$

donde se deduz, para cálculo do volume total infiltrado:

$$V_{ic} = D \cdot L = \frac{\sum_{i=1}^N D_i}{N} \cdot L \quad (4.3)$$

Se for Q_0 o módulo parcelar (constante), sendo t_a o tempo de alimentação, o volume de alimentação ou volume total admitido na parcela será

$$V_0 = Q_0 \cdot t_a \quad (4.4)$$

No campo, no ensaio de rega, mediu-se o volume excedente V_e , por integração do respectivo hidrograma, como foi descrito no capítulo 2. Agora, o princípio da conservação da massa (ou do volume) implica que o volume infiltrado medido V_{i0} seja igual à diferença entre o volume V_0 medido à entrada da parcela e o volume V_e medido à saída:

$$V_{i0} = V_0 - V_e \quad (4.5)$$

Se a equação da infiltração a ser testada fosse exacta, seria $V_{ic} = V_{i0}$. É claro que os dois valores se afastam na realidade e a grandeza do afastamento traduz a falta de fiabilidade da equação.

4.1.2. Teste das equações obtidas do avanço das regas

O balanço volumétrico que serviu ao teste de cada equação da infiltração foi feito com os dados do mesmo sulco e da mesma rega que serviu à obtenção da referida equação. Com cada um desses conjuntos de dados testaram-se as respectivas equações de cada um dos tipos: Kostiakov, Lewis e Philip. Os resultados relativos às segunda e terceira regas estão reunidos no Quadro 4.I.

De cada equação, apresentam-se os valores calculado e medido, respectivamente V_{ic} e V_{i0} , do volume infiltrado. Como critério para quantificar a fiabilidade da equação, utiliza-se o erro relativo, que no Quadro 4.I está designado apenas por "Erro":

QUADRO 4.1

TESTE DAS EQUAÇÕES DA INFILTRAÇÃO POR VERIFICAÇÃO DO BALANÇO VOLUMÉTRICO

Equações obtidas do avanço das regas (S e T de 1985) pelo método de Elliott e Walker

MODAL- S	REGA E SULCO	DO (1/s)	PH (m)	T2/T1	VOLUMES MEDIDOS		EQUAÇÃO KOSTIMKOV	VERIFICAÇÃO DO BAL. VOL.		EQUAÇÃO KOST.-LEWIS	VERIFICAÇÃO DO BAL. VOL.		EQUAÇÃO PHILIP	VERIFICAÇÃO DO BAL. VOL.	
					V _o	V _e		V _{ic}	V _{io}		V _{ic}	V _{io}		V _{ic}	V _{io}
8	SR 2	1.1	.241	2.56	29430	1950	15.8781.279	23880	27480	17.1731.251+.0241	24340	-3140	8.9121.5-.2901	19380	-8100
8	SR 5	1.2	.266	2.28	33480	3820	41.6461.116	24360	29660	75.7751-.079+.1441	Não calculado	Não calculado	14.1001.5-.6261	Não calculado	0 (29)
5A	SR11	1.0	.270	2.44	20093	5500	22.3881.218	15020	14573	24.3971.189+.0241	15169	587	10.3611.5-.3481	13360	-1233
5A	SR17	1.3	.351	2.80	37649	9600	2.3531.766	33540	28049	2.4791.661+.0841	34040	5991	3.3501.5+.2611	35740	7691
2	SR19	1.6	.335	4.44	25057	1250	3.0521.693	26900	23807	3.1231.649+.1021	27080	3293	4.1841.5+.3091	27460	-3653
5B	SR 7	1.3	.243	2.00	25116	2500	66.6101.059	18100	22616	451.2811-.609+.3601	Não calculado	Não calculado	17.6871.5-.8001	15900	9216
5B	SR13	1.1	1.740	2.21	31901	0	51.9701.134	22800	31901	226.3401-.239+.2461	Não calculado	Não calculado	15.9541.5-.5631	19460	12441
8	TR 2	1.1	.351	2.44	28638	1690	18.9151.251	24020	26948	21.3641.209+.0361	24680	-2268	9.7551.5-.3411	19280	9358
8	TR 5	1.6	.360	2.50	39990	3640	21.1211.310	37160	36350	85.8071-.158+.3721	Não calculado	Não calculado	12.7321.5-.3611	32920	7070
5A	TR11	1.0	.337	2.05	16111	1150	39.2701.071	11460	14951	48.9191-.002+.0481	Não calculado	Não calculado	11.8581.5-.5761	10120	5991
5A	TR17	1.5	.609	2.93	31878	6730	2.3421.731	30580	25148	2.4171.695+.0841	30780	5632	3.4151.5-.3251	31700	178
2	TR21	2.3	.366	3.20	30780	3820	11.4181.465	27160	28960	16.5101.303+.2881	28420	1460	10.6321.5-.0881	26840	3940
5B	TR 7	1.5	.306	2.06	23838	1200	70.7481.036	17160	22638	77.4131.066+.0301	Não calculado	Não calculado	18.9771.5-.9521	15080	8758
5B	TR13	1.2	.153	2.91	24012	1100	14.2791.582	22940	22912	95.3731-.200+.3361	Não calculado	Não calculado	10.1631.5-.1711	22900	1112

$$\text{Erro} = \frac{\nabla_{ic} - \nabla_{io}}{\nabla_{io}} \cdot 100 \quad (4.6)$$

Assinala-se com D e com E respectivamente, se a equação estimou por defeito ou por excesso a infiltração. Ao fundo do quadro apontam-se para cada tipo de equação as médias dos valores absolutos e relativos dos erros. A primeira média quantifica a falta de fiabilidade do tipo de equação respectivo e facilita a comparação entre os três tipos; a segunda exprime o sentido dominante, por defeito (erro negativo) ou por excesso (erro positivo), da estimativa da infiltração.

Os erros de verificação do balanço volumétrico foram menores quando se usou a equação de Lewis: 12,1% é a média dos valores absolutos dos erros. Repare-se no entanto que o cálculo só foi possível em metade dos casos testados. Nos outros, onde o expoente de t é negativo, a função $I = f(t)$ não é monotónica nem passa pela origem das coordenadas, pelo que não faria qualquer sentido usá-la para representar a infiltração. Na maior parte dos casos em que a equação é válida, ela estima a infiltração por excesso: erros relativos com média +7%.

Já as equações de Philip, embora nem sempre monotónicas, passam pela origem das coordenadas e são crescentes até valores razoavelmente grandes de t. Podem assim usar-se na verificação do balanço volumétrico das regas, porém com resultados pobres. De facto, vê-se no quadro que são bastante variáveis os erros de verificação. A média dos seus valores absolutos é 21,2% e a dos relativos -11%, isto significa que a maior parte das equações de Philip aqui testadas estimam por defeito a infiltração.

As equações de Kostikov conduzem a melhor verificação do balanço volumétrico. A média dos valores absolutos dos erros é 14,2%, contra 12,1% nas de Lewis, mas as de Kostikov puderam aplicar-se a todos os casos. A maior parte das equações de Kostikov estimam por defeito a infiltração, sendo -6% a média dos valores relativos dos erros.

4.1.3. Teste das equações obtidas em infiltrómetros

A modalidade de rega com cujo balanço volumétrico se testa dada equação obtida em infiltrómetro deve ter condições tão semelhantes quanto possível às do próprio infiltrómetro. Para além do mesmo espaçamento entre sulcos e da mesma ordem de rega, procurou-se que fossem próximos os valores do perímetro molhado na rega e no infiltrómetro.

No Quadro 4.II reúnem-se os resultados dos testes às equações médias do tipo Kostiakov, representativas das modalidades de ensaio feitas nos infiltrómetros em 1985 e que já tinham sido seleccionadas no capítulo anterior. Notam-se imediatamente diferenças entre as equações obtidas de infiltrómetro de sulco bloqueado e as obtidas de infiltrómetro de sulco com retorno: as primeiras estimam sempre por defeito a infiltração, enquanto as segundas o fazem por excesso. Quanto aos valores absolutos dos erros, se se compararem com os observados no Quadro 4.I (equações obtidas pelo método de Elliott e Walker) vê-se que são um pouco maiores (15% e 19% contra 14%) os erros das equações obtidas em infiltrómetros.

De acordo com o que se disse acerca da influência do perímetro molhado na equação da infiltração, poderia esperar-se melhor verificação do balanço volumétrico quando a variável PM fosse considerada na equação. Por isso se repetiram os testes de que trataa os parágrafos anteriores, agora usando as equações sob a forma que inclui o perímetro molhado como segunda variável independente: $Z = f(t, PM)$. Os resultados estão contidos no Quadro 4.III.

QUADRO 4.11
 TESTE DAS EQUAÇÕES DA INFILTRAÇÃO
 POR VERIFICAÇÃO DO BALANÇO VOLUMÉTRICO

Segunda (S) e Terceira (T) regas de 1985

Equações obtidas pelo método
 dos Infiltrômetros: $I = k \cdot t^a$

Equação I(l/m)=	Modalidade	W	BO	B1	Pa	T2/T1	BALANÇO VOLUMÉTRICO (litros)	Sentido							
									Kostiakov	(m)	Sulco	(l/s)	(l/s)	(m)	$V_a = V_0$
3.454 t. ⁵⁶¹	BLQ	85 S	.75	17	1.3	1.1	.351	2.8	37649	9600	28049	2520	-7529	-27	D
"	"	"	"	2	1.1	.6	.241	2.6	29430	1950	27480	2660	- 820	- 3	D
3.207 t. ⁶²⁹	"	"	1.5	13	1.1	.5	.274	2.2	31901	0	31901	25820	-6081	-19	D
"	"	"	"	7	1.3	.5	.243	2.0	25116	2500	22616	19980	-2636	-12	D
9.584 t. ⁴⁷⁸	RTN	85 S	1.5	19	1.6	1.1	.345	4.4	25057	1250	23807	26020	2213	9	E
"	"	"	"	7	1.3	.5	.243	2.0	25116	2500	22916	26100	3484	15	E
"	"	"	"	13	1.1	.5	.274	2.2	31901	0	31901	31640	- 261	- 1	D
2.970 t. ⁷²⁰	"	T	1.5	7	1.5	.8	.306	2.1	23838	1200	22638	26800	4162	-18	E
"	"	T	1.5	13	1.2	.3	.256	2.9	24012	1100	22912	30740	7828	34	E
4.145 t. ⁵⁸⁰	"	T	.75	2	1.1	.8	.333	2.4	28638	1690	26948	34800	7852	29	E
"	"	T	"	17	1.5	-	.409	2.9	31878	6730	25148	22860	-2288	- 9	D
6.056 t. ⁵²⁰	"	S	"	5	1.2	1.0	.266	2.3	33480	3820	29660	36320	6660	22	E
"	"	S	"	11	1.0	.8	.270	2.4	20093	5500	14593	21680	7087	49	E
"	"	S	"	17	1.3	1.2	.351	2.8	37649	9600	28049	28000	- 49	0	0
										Valor médio absoluto		18			
										Valor médio relativo		+ 5			

QUADRO 4.III
 TESTE DAS EQUAÇÕES DA INFILTRAÇÃO
 POR VERIFICAÇÃO DO BALANÇO VOLUMÉTRICO

Segunda (S) e Terceira (T) regas de 1985

Equações obtidas pelo método
 dos Infiltrômetros: $Z = k_p \cdot Pa \cdot t^2$

Equação	Modalidade	W	Q0	Q1	Pa	T2/T1	BALANÇO VOLUMÉTRICO (litros)					Erro (Z)	Sentido	
							Pa	T2/T1	$V_a - V_o$	V_e	V_{io}			V_{ic}
Kostiakov, Pa	(m)	Sulco	(l/s)	(l/s)	(m)									
10.516t. ⁵⁶¹ Pa	BLD 85 S	.75	17	1.3	1.1	.351	2.8	37649	9600	28049	21900	- 6149	-22	D
10.516 Pat. ⁵⁶¹	" "	"	2	1.1	.6	.241	2.6	29430	1950	27480	19540	- 7940	-29	D
10.141 t. ⁶³²	" "	1.5	13	1.1	.5	.274	2.2	31901	0	31901	19940	-11961	-37	D
"	" "	"	7	1.3	.5	.243	2.0	25116	2500	22616	15660	- 6956	-31	D
27.825Pat. ⁴⁹⁰	RTN 85 S	1.5	19	1.6	1.1	.345	4.4	25057	1250	23807	27060	3253	14	E
"	" "	"	7	1.3	.5	.243	2.0	25116	2500	22916	19640	- 2976	13	D
"	" "	"	13	1.1	.5	.274	2.2	31901	0	31901	23700	- 8201	-26	D
9.322Pa t. ⁷⁰⁴	" T	"	7	1.5	.83	.306	2.1	23838	1200	22638	23620	982	4	E
"	" T	"	13	1.2	.3	.256	2.9	24012	1100	22912	22600	- 312	- 1	D
14.915Pa t. ⁵⁷⁶	" T	.75	2	1.1	.8	.333	2.4	28638	1690	26948	40740	13792	51	E
"	" T	"	17	1.5	-	.409	2.9	31878	6730	25148	32880	7732	31	E
21.234Pa t. ⁵⁰⁷	" S	"	5	1.2	1.0	.266	2.3	33480	3820	29660	31440	1780	6	E
"	" S	"	11	1.0	.8	.270	2.4	20093	5500	14593	19040	4447	30	E
"	" S	"	17	1.3	1.2	.351	2.8	37649	9600	28049	31880	3831	14	E

Verifica-se que o valor absoluto dos erros aumentou no caso das equações obtidas em infiltrómetros de sulco bloqueado: de 15% para 30%. No caso das equações obtidas em infiltrómetros de sulco com retorno, o valor absoluto médio dos erros de verificação do balanço volumétrico mantém-se em 19%. Esta não melhoria do comportamento das equações, pior por inclusão da variável perímetro molhado, pode dever-se a inadequação do valor de PM usado como representativo da modalidade de rega com que se fez o teste. De facto, este valor é medido durante a fase de permanência da rega, quando se julgam suficientemente estáveis as condições do escoamento, nomeadamente o caudal; é possível que tais condições não sejam representativas de toda a rega.

4.2. MODELO DE ONDA CINEMATICA

O escoamento no processo de rega depende muito estreitamente das características de infiltração do solo; portanto, a justeza da sua simulação depende, de modo semelhante, da equação da infiltração usada. Esta mostrar-se-á tanto mais adequada para descrever a infiltração quanto mais próximos forem o processo de rega observado nos ensaios e o simulado com uso da equação em causa.

Como critério para quantificar o afastamento entre os dois processos, o observado e o modelado, usar-se-ão os valores do erro relativo médio

$$ERM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{t_o - t_c}{t_o} \quad (4.7)$$

e da média absoluta do erro relativo

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|t_o - t_c|}{t_o} \quad (4.8)$$

sendo N o número de observações (isto é, o número de estações de controlo), t_o e t_c os valores respectivamente observados e simulados dos tempos de avanço ou de recessão, conforme a fase. Note-se que, enquanto MAE quantifica o afastamento total entre valores observados e simulados, ERM indica o sentido do afastamento, isto é, se a simulação se faz por defeito ou por excesso.

4.2.1. Programa KINWAVE de Walker (1984)

O programa de computador com que se fez a simulação das regas foi cedido pelo seu autor (Walker, 1984) e apenas adaptado ao equipamento informático existente na Universidade de Évora.

Trata-se de um modelo de onda cinemática, resolvendo-se as equações do escoamento pelo método das "células móveis e deformáveis", que oportunamente se descreveu. Cada "célula" é modelada a incrementos de tempo constantes, para os quais no caso vertente se fixou o intervalo de dois minutos. Para além das fases de avanço e de recessão, a simulação inclui: os volumes infiltrados por unidade de comprimento ao longo do sulco; o "hidrograma" de excedentes; um balanço volumétrico resumido e uma análise das eficiências da rega simulada.

Em termos muito genéricos, o fluxograma será o representado na Fig. 4.2. Notem-se as possibilidades de simular as técnicas de "cut-back" e de "surge-flow", que no caso presente não foram utilizadas.

4.2.2. Teste das equações da infiltração por modelação do escoamento

Com os valores do balanço volumétrico calculados mediante o programa de Walker (1984), construíram-se os Quadros 4.IV e 4.V, para as equações da infiltração obtidas respectivamente pelos métodos de Elliott e Walker e dos infiltrómetros. Os Quadros 4.IV e 4.V podem confrontar-se com os Quadros 4.I e 4.II respectivamente, pois contém resultados equivalentes, calculados nestes pelo programa específico de balanço volumétrico que se descreveu no subcapítulo 4.1. Os resultados são muito semelhantes, confirmando as conclusões que então se tiraram quanto ao comportamento de cada um dos tipos estudados de equação da infiltração.

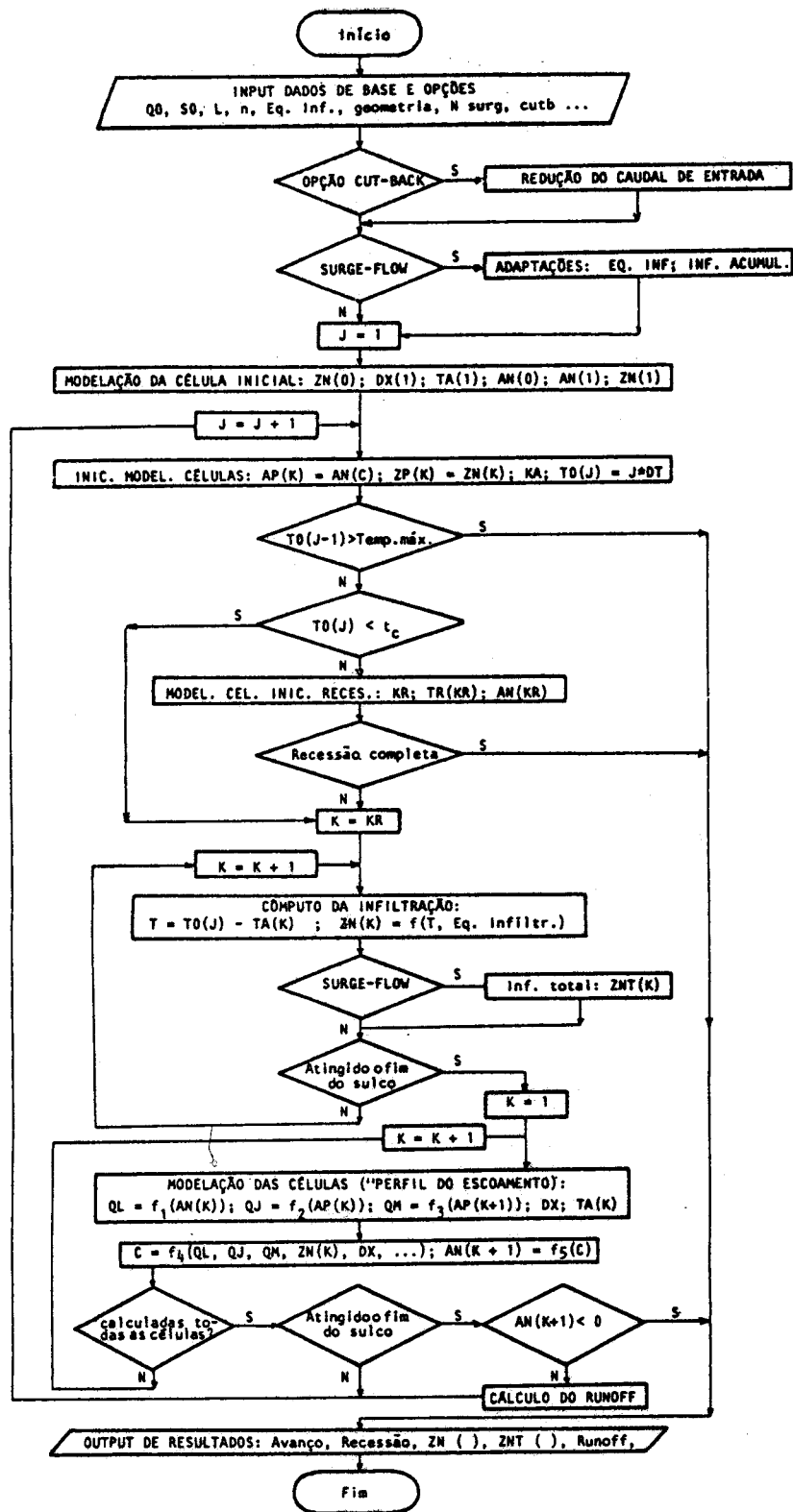


Fig. 4.2 - Fluxograma do programa KINWAVE

QUADRO 4. IV

TESTE DAS EQUAÇÕES DA INFILTRAÇÃO POR MODELAÇÃO MATEMÁTICA DO ESCOAMENTO

Equações obtidas do avanço das regas (S e T de 1985) pelo método de Elliott e Walter

MODAL. S	REGA E SULCO	QO (l/s)	VOLUMES MEDIDOS		EQUAÇÃO KOSTIAKOV	VERIFICAÇÃO DO BAL. VOL.		EQUAÇÃO LEWIS	VERIFICAÇÃO DO BAL. VOL.		EQUAÇÃO PHILIP	VERIFICAÇÃO DO BAL. VOL.			
			V _{io}	V _e		V _{ic}	V _f		V _{ic}	V _f		V _{ic}	V _f		
S8	S 2	1.1	29430	1950	15.8781.279	24054	5564	17.1731.251+.0241	24553	5084	8.9121.5.2901	18921	31789	D13	D31
S8	S 5	1.2	33480	3820	41.6461.116	24346	7996	75.7751.079+.1441	28046	4307	14.1001.5.6261	15083	87701	D 2	D49
SSA	S11	1.0	20093	5500	22.3881.218	14753	4550	24.3971.189+.0241	14876	4429	10.3611.5.3481	12546	33001	E 7	D14
SSA	S17	1.3	37449	9600	2.3531.706	33874	3420	2.4791.661+.0841	34364	2930	3.3501.5.2611	36082	1216	E24	E29
S2	S19	1.6	25057	1250	3.0521.693	25221	319	3.1231.649+.1021	25314	213	4.1841.5.3091	25546	8	E 4	E 7
SS8	S 7	1.3	25116	2500	65.6101.059	18057	7045	451.2811.609+.3601	19690	5505	17.6871.5.8001	15147	78817	D20	D33
SS8	S13	1.1	31901	0	51.9701.134	22802	8673	226.3401.259+.2461	24618	6865	15.9541.5.5631	19611	41740	D27	D39
S8	T 2	1.1	28638	1690	18.9151.251	23868	4430	21.3641.209+.0361	24519	3782	9.7551.5.3411	18797	36932	D10	D30
S8	T 5	1.6	39990	3640	21.1211.310	37901	4062	85.8071.158+.3721	Não calculado		12.7321.5.3611	31470	24560	D 8	D13
SSA	T11	1.0	16111	1150	39.2701.071	11429	5002	48.9191.002+.0481	11609	4809	11.8581.5.5761	9075	62052	D26	D39
SSA	T17	1.5	31878	6730	2.3421.731	29978	962	2.4171.695+.0841	30154	786	3.4151.5.3251	30826	116	E23	E23
S2	T21	2.3	30780	3820	11.4181.465	25868	5025	16.5101.303+.2881	26803	4100	10.6321.5.0881	25646	5217	D 4	D 5
SS8	T 7	1.5	23838	1200	70.7481.036	17126	7508	77.4131.006+.0301	17197	7420	18.9771.5.9521	13079	839	D28	D39
SS8	T13	1.2	24012	1100	14.2791.382	23191	1501	95.3731.200+.3361	23355	1345	10.1631.5.1711	23093	1594	D 2	E 1

QUADRO 4.V

TESTE DAS EQUAÇÕES DA INFILTRAÇÃO POR MODELAÇÃO MATEMÁTICA DO ESCOAMENTO

Equações obtidas pelo método dos infiltrômetros de sulco bloqueado (BL085) e com retorno (RT085)

MODAL. S	REGA E SULCO	Q0 (l/s)	V0	VOLUMES MEDIDOS		EQUAÇÃO KOSTIAKOV	VERIFICAÇÃO DO BAL. VOL.		EQUAÇÃO LEWIS	VERIFICAÇÃO DO BAL. VOL.		EQUAÇÃO PHILIP	VERIFICAÇÃO DO BAL. VOL.				
				V _{io}	V _e		V _{ic}	V _f		ERRO (Z)	V _{ic}		V _f	ERRO (Z)			
BL085	S17	1.3	37649	27049	9600	3.454t-561	21481	15795	D23	10.555t-285t,044t	16032	21241	D43	7.087t,5-264t	5762	47113	D79
BL085	S2	1.1	29430	27480	1950	3.454t-561	27897	17556	E2	6.210t-434t,143t	29694	0	E8	5.539t,5-036t	29679	0	E8
BL085	S13	1.1	31901	31901	0	3.207t-629	28310	3168	D11	6.210t-434t,143t	28554	2930	D10	5.539t,5-036t	25616	5861	D10
BL085	S7	1.3	25116	22616	2500	3.207t-629	22229	2882	D2	2.595t-514t,178t	20640	4469	D9	2.676t-5-185t	20656	4450	D9
RT085	S19	1.6	25057	23807	1250	9.584t-478	23997	1521	E1	6.388t-504t,352t	25578	0	E7	6.443t,5-359t	25575	0	E7
RT085	S7	1.3	25116	22616	2500	9.584t-478	24901	232	E10	6.210t-434t,143t	22117	2995	D2	6.443t,5-359t	25167	0	E11
RT085	S13	1.1	31901	31901	0	9.584t-478	30721	759	D4	2.595t-514t,178t	27798	3682	D13	2.696t,5-185t	27870	3612	D13
RT085	T7	1.5	23838	22638	1200	2.970t-720	24659	0	E9	7.041t-438t,172t	22898	1740	E1	6.307t,5-071t	22204	2427	D2
RT085	T13	1.2	24012	22912	1100	2.970t-720	24744	0	E8	4.379t-273t,018t	5615	19064	D75	2.462t,5-068t	4318	21775	D81
RT085	T2	1.1	28638	26948	1690	4.145t-580	28350	0	E5	3.368t-368t,030t	13120	15175	D51	3.133t,5-102t	6348	28255	D76
RT085	T17	1.5	31878	25148	6730	4.145t-580	23323	7601	D7	7.041t-438t,172t	27266	3673	E8	6.307t,5-071t	26002	4930	E3
RT085	T5	1.6	39990	36350	3640	6.056t-520	37692	3475	E4	9.616t-329t,049t	26281	14884	D28	7.591t,5-298t	10343	58206	D72
RT085	T11	1.0	16111	14961	1150	6.056t-520	16457	0	E10	4.379t-273t,018t	5028	11395	D66	2.462t,5-068t	4426	12002	D70
RT085	T17	1.5	31878	25148	6730	6.056t-520	23700	7226	D6	7.285t-282t,027t	9395	21526	D43	5.009t,5-209t	3733	39568	D85

Retome-se porém a intenção principal de avaliar o ajustamento, aos casos semelhantes observados no campo, da simulação feita com cada uma das equações em estudo. Usar-se-ão, como critérios para qualificar os ajustamentos, os valores de ERM e de MAE, como atrás se definiram.

Nos Quadros 4.VI e 4.VII mostram-se os valores referentes às equações obtidas respectivamente pelo método de Elliott e Walker e pelo método dos infiltrómetros. As conclusões que se podem tirar dos dois quadros estão de acordo com observações feitas anteriormente, sempre que se compararam os tipos de equações da infiltração.

Ao contrário do que aconteceu com o programa de cálculo do balanço volumétrico tratado no subcapítulo 4.1, o programa de modelação agora usado admitiu sempre as equações do tipo Kostiakov-Lewis, mesmo quando tinham expoente negativo. Porém, os resultados são sempre piores que os obtidos quando se usou uma equação do tipo Kostiakov.

A simulação da fase de recessão é sempre menos perfeita que a relativa à fase de avanço. Esta observação nada tem de novo, pois ela tem sido feita por vários autores, relativamente aos modelos de onda cinemática.

Se agora se compararem entre si os Quadros 4.VI e 4.VII, verificar-se-á que as equações obtidas pelo método de Elliott e Walker (Quadro 4.VI) conduzem sempre a melhores simulações da rega que as obtidas de infiltrómetros (Quadro 4.VII). De entre estas e sobretudo nas de tipo Kostiakov, as de infiltrómetro de sulco com retorno são melhores que as de sulco bloqueado.

As figuras 4.3 e 4.4 ilustram casos típicos dos ajustamentos observados, com uso de equações da infiltração obtidas respectivamente pelo método de Elliott e Walker e pelos infiltrómetros.

QUADRO 4.VI
TESTE DO AJUSTAMENTO DO MODELO DE ONDA CINEMATICA
-aos DADOS DE CAMPO DO AVANÇO E DA RECESSÃO
 Equações da infiltração obtidas pelo método de Elliott e Walker

MODAL.	REGA E SULCO	C. RUG. MANNING	QO (l/s)	KOSTIAKOV	AVANÇO		RECESSÃO		LEWIS	AVANÇO		RECESSÃO		
					ERM	MAE	ERM	MAE		ERM	MAE	ERM	MAE	
S8	S 2	.084	1.1	15.878t-279	2	10	13	14	17.173t-.251+.024t	2	11	8	11	
S8	S 5	.072	1.1	41.646t-116	25	30	13	13	75.775t--079+.144t	32	35	-14	17	
SSA	S11	.042	1.0	23.388t-218	24	24	-20	27	24.397t-.189+.024t	24	24	-23	28	
SSA	S17	.039	1.3	2.353t-706	-35	39	-55	55	2.479t-.661+.084t	-35	39	-55	55	
S2	S19	.042	1.6	3.052t-693	-3	20	-54	54	3.212t-.649+.102t	-12	18	-54	54	
SSB	S 7	.053	1.3	65.610t-059	43	46	-8	15	451.300t--609+.360t	63	75	-39	39	
SSB	S13	.150	1.1	51.970t-134	68	69	82	82	226.300t--295+.246t	94	95	34	34	
S8	T 2	.108	1.1	18.915t-251	1	9	-6	13	21.364t-.209+.036t	2	10	-10	17	
S8	T 5	.143	1.6	21.121t-310	0	8	-4	13	85.807t--158+.372t	10	24	-24	26	
SSA	T11	.045	1.0	39.270t-071	18	32	-15	15	48.919t--002+.048t	20	34	-25	25	
SSA	T17	.076	1.5	2.342t-731	-27	35	-46	46	2.417t-.695+.084t	-27	35	-47	47	
S2	T21	.043	2.3	11.418t-465	-7	7	-54	54	16.510t-.303+.288t	-4	8	-56	56	
SSB	T 7	.083	1.5	70.748t-036	27	35	10	13	77.413t-.006+.030t	29	37	2	8	
SSB	T13	.151	1.2	14.279t-382	10	13	27	27	95.373t--200+.336t	27	38	8	10	
Médias:					10.4	26.9	-8.4	31.5		Médias:	16.1	34.5	-24.1	30.5

QUADRO 4.VII
TESTE DO AJUSTAMENTO DO MODELO DE DNDA CINEMATICA
ADS DADOS DE CAMPO DO AVANÇO E DA RECESSAO
 Equações da infiltração obtidas pelo método dos infiltrômetros

MODAL.	REGA E SULCO	C. RUG. MANNING	DO (1/s)	KOSTIAKOV	AVANÇO		RECESSAO		LEWIS	AVANÇO		RECESSAO	
					ERM	MAE	ERM	MAE		ERM	MAE	ERM	MAE
BLQ	S17	.039	1.3	3.454t.561	-53	53	-44	44	10.555t.285+.044t	-36	36	-37	37
BLQ	S 2	.084	1.1	3.454t.561	-30	30	-7	11	6.210t.434+.143t	7	30	-15	18
BLQ	S13	.150	1.1	3.207t.629	-28	28	29	33	6.210t.434+.143t	-35	35	-23	23
BLQ	S 7	.053	1.3	3.207t.629	-50	50	-38	38	2.595t.514+.178t	-65	65	-38	38
RTN	S19	.042	1.6	9.584t.478	27	27	-49	49	6.388t.504+.352t	42	42	-55	55
RTN	S 7	.053	1.3	9.584t.478	- 1	15	-36	38	6.210t.434+.143t	-42	42	-36	38
RTN	S13	.150	1.1	9.584t.478	25	28	33	33	2.595t.514+.178t	-46	46	23	27
RTN	T 7	.083	1.5	2.970t.720	-36	41	-39	39	7.041t.438+.172t	-35	35	-31	31
RTN	T13	.151	1.2	2.970t.720	- 5	27	- 3	12	4.379t.273+.018t	-61	61	49	51
RTN	T 2	.108	1.1	4.145t.580	- 8	30	-26	28	3.368t.368+.030t	-65	65	-11	11
RTN	T17	.076	1.5	4.145t.580	-23	23	-35	35	7.041t.438+.172t	-17	17	-40	40
RTN	T 5	.143	1.6	6.056t.520	-32	32	-14	20	9.616t.329+.049t	-46	46	- 2	11
RTN	T11	.045	1.0	6.056t.520	- 3	21	-46	46	4.379t.273+.018t	-69	69	-28	28
RTN	T17	.076	1.5	6.056t.520	-23	23	-35	35	7.285t.282+.027t	-52	52	-22	22
Média:					-17.1	30.6	-22.1	32.9	Média:	-37.1	45.8	-19.0	30.7

ELW S5B TR13 $w = 1.5$ $Q_0 = 1.16$
 Eq. KOSTIAKOV $I(1/m) = 14.279 * t^{.382} + 0 * t$

	simulado	observado
avanço	————	+ + +
recess.	———	x x x
vol.inf.	- - - - -	* * *

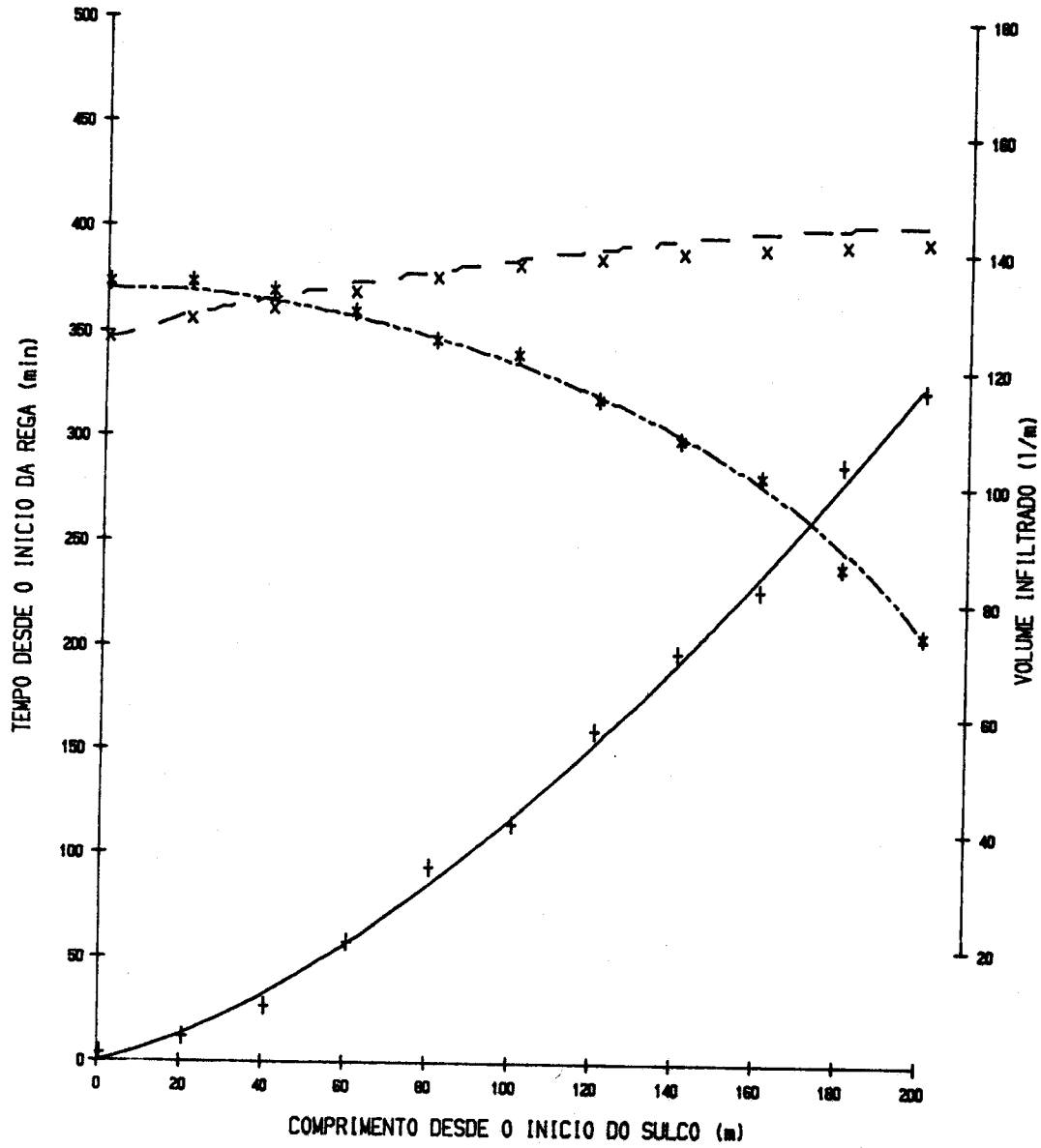


Fig. 4.3 - Ajustamento do modelo KINWAVE incorporando uma equação da infiltração obtida pelo método de Elliott e Walker

INF RTN SR19 $w = .75$ $Q_0 = 1.57$
 Eq. KOSTIAKOV $I(1/m) = 9.584 * t^{.478} + 0 * t$

	simulado	observado
avanço	————	+ + +
recess.	- - - -	x x x
vol. inf.	- - - - -	* * *

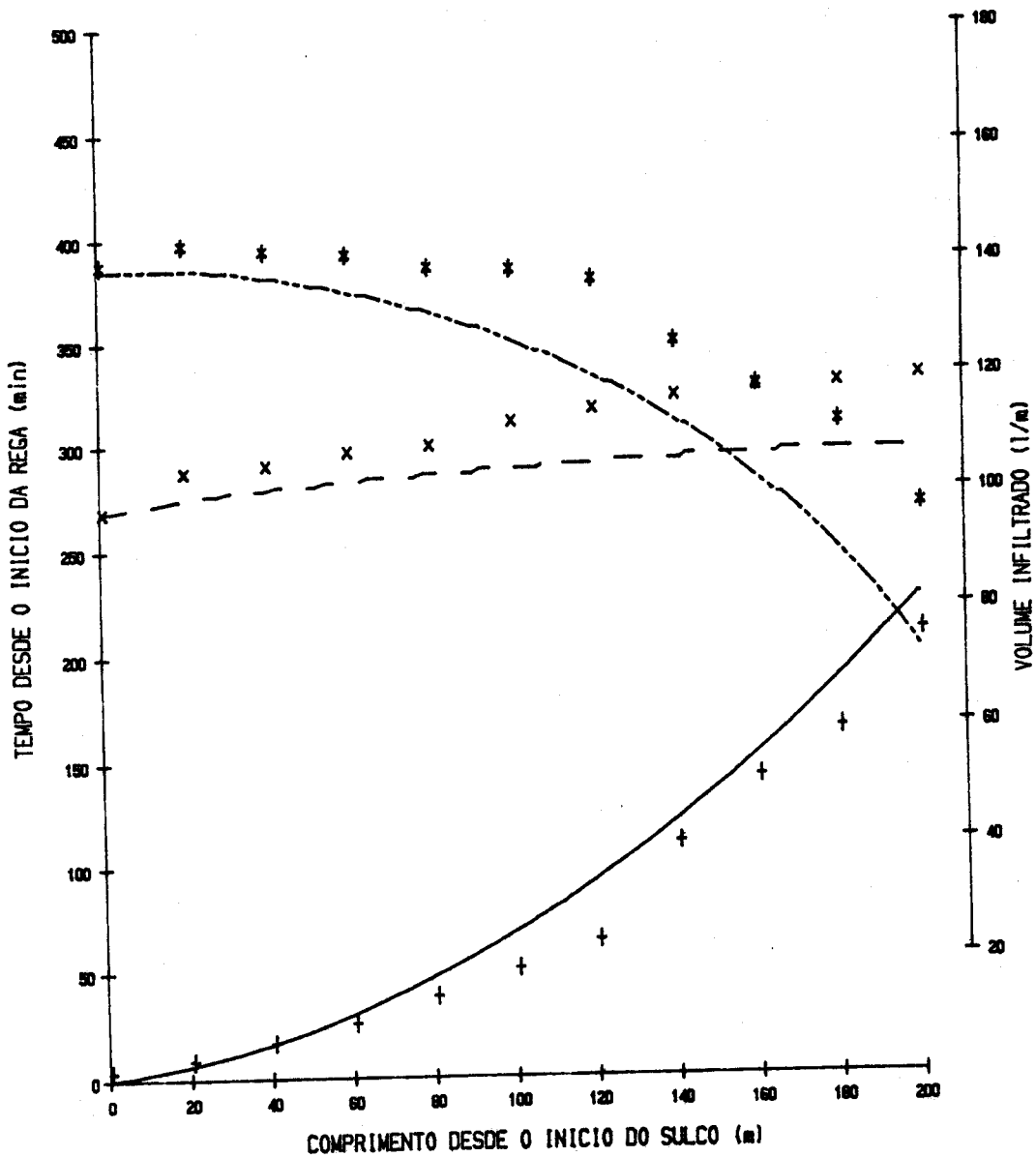


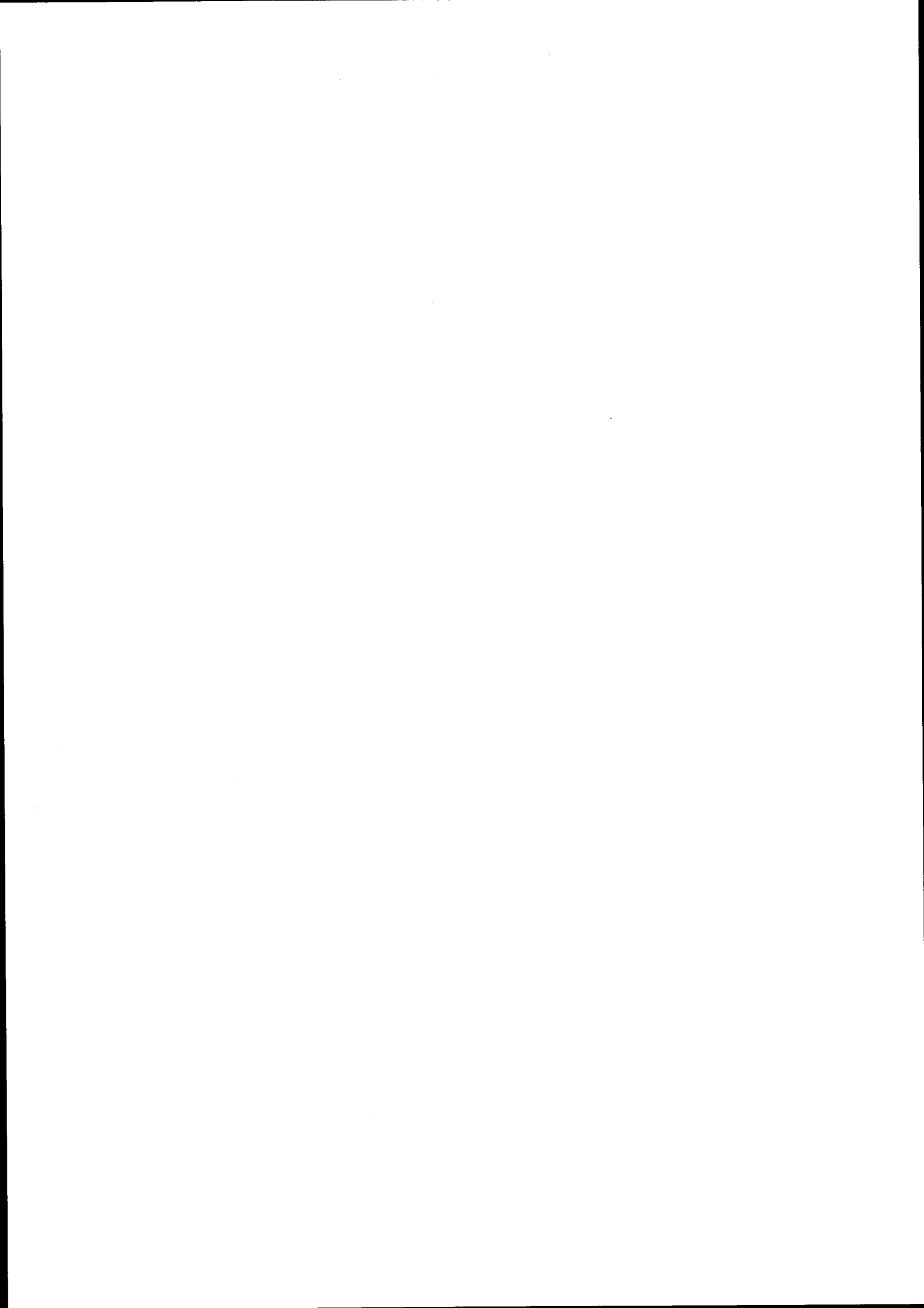
Fig. 4.4 - Ajustamento do modelo KINWAVE incorporando uma equação da infiltração obtida pelo método dos infiltrômetros

4.3. CONCLUSÕES

De acordo com o que se observou ao longo deste capítulo, uma conclusão que interessa salientar é que o método de Elliott e Walker (1982) se revela melhor que os infiltrómetros para obter as equações da infiltração em sulcos. De facto, o uso das equações obtidas pelo primeiro método conduziu sempre a melhores ajustamentos entre valores calculados e valores observados, quer de volumes infiltrados, quer de tempos de avanço e de recessão. Exceptuem-se contudo os casos oportunamente salientados em que a equação do tipo Lewis tem expoente negativo, o que acontece no método de Elliott e Walker mas nunca no dos infiltrómetros.

No início de um estudo ou num projecto, quando não se dispõe ainda de dados das regas, as equações da infiltração terão de ser obtidas em infiltrómetros. Então, os de sulco com retorno são preferíveis aos de sulco bloqueado.

Relativamente aos tipos de equações ensaiados, resultou evidente que as equações do tipo Philip não são próprias para descrever a infiltração em sulcos, no solo Argiluviado. Quase o mesmo se pode dizer das equações do tipo Kostikov-Lewis, que podem ter expoente negativo. A infiltração em sulcos é pois melhor descrita, em solo Argiluviado, por equações do tipo Kostikov. Note-se que estas conclusões confirmam o que se tinha deduzido anteriormente.



CAPÍTULO 5

APLICAÇÃO E DESENVOLVIMENTO

Conclui-se o estudo da rega por sulcos a que tem estado a proceder-se ao longo da presente dissertação, primeiro fazendo uma aplicação útil, que constituirá inovação tecnológica, finalmente apontando caminhos a percorrer pela investigação neste domínio, entre nós.

5.1. CONTROLO COMPUTORIZADO DA REGA POR SULCOS

Fez-se no capítulo anterior a introdução a um programa de computação (listado no Anexo B4.1) mediante o qual se calculou o balanço volumétrico das regas, servindo ao teste das equações da infiltração. Faz-se agora um desenvolvimento desse programa, para através dele se analisarem as qualidades das regas: eficiências e uniformidade; ele torna-se assim a base para optimização prática das mesmas qualidades. Depois, e usando ainda o mesmo programa, lançam-se as bases duma técnica para automatização do funcionamento dos sistemas de rega por sulcos.

5.1.1. Programa de análise das qualidades das regas

Descreveu-se no capítulo anterior a determinação de alguns valores característicos de cada rega: tempos de infiltração τ_x , dotações unitárias D_i e volumes totais admitidos ∇_0 , infiltrados ∇_{ic} e ∇_{io} e excedente ∇_e . Estes valores serviram ao teste das equações da infiltração. O programa oferece porém um resultado bem mais amplo: a análise da rega, isto é, a determinação das qualidades - uniformidade e eficiências verificadas.

As eficiências referem-se a uma dotação pretendida útil, que se traduz por um volume ∇_u em todo o comprimento L do sulco:

$$\nabla_u = D L \quad (5.1)$$

sendo D a dotação útil (l/m). Pode definir-se a "eficiência da infiltração":

$$e_i = \frac{\nabla_u}{\nabla_{io}} \quad (5.2)$$

mas a eficiência que melhor traduz a "qualidade" da rega é a "eficiência de aplicação".

$$e_a = \frac{v_u}{v_o} \quad (5.3)$$

O indicador de uniformidade mais usado é o "coeficiente de uniformidade de Christiansen" C_u , que se escreve:

$$C_u = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N |D_i - D|}{N \cdot D} \quad (5.4)$$

onde N é o número de pontos de observação (estações) ao longo do sulco, D_i são as dotações unitárias observadas e D o respectivo valor médio.

5.1.2. Qualidades potenciais, sem "cut-back"

Da equação de infiltração tira-se o valor do "tempo útil de infiltração" τ_D , que é o tempo (minutos) necessário para que se infiltre a quantidade de água D (l/m). Sabe-se, para cada estação de controlo, o respectivo tempo de infiltração τ_x (equação 4.1), sabe-se em particular o valor de τ_L , tempo de infiltração no extremo jusante do sulco, que em princípio será o menor dos tempos de infiltração τ_x .

A diferença

$$\Delta t = \tau_L - \tau_D \quad (5.5)$$

é, pois uma correlação a introduzir no tempo de alimentação da parcela, do que resultará que a dotação efectiva no extremo de jusante será igual a D , dotação útil pretendida. Ao longo do sulco,

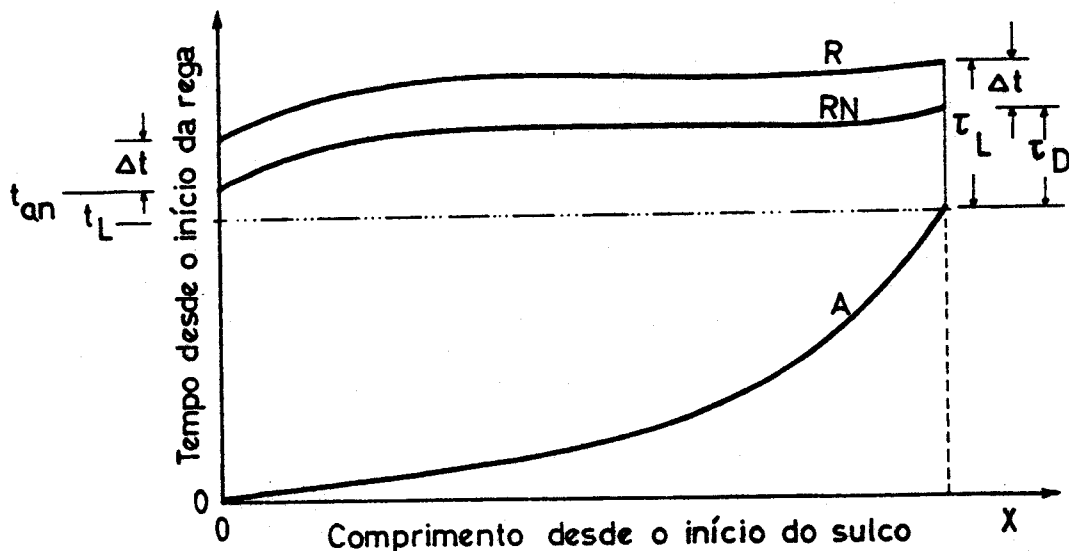


Fig. 5.1 - Ajustamento dos tempos de recessão, para melhorar as qualidades da rega.

os volumes infiltrados são maiores que D , para que a dotação seja suficiente, mas acima desse valor serão tão pequenos quanto possível, para que sejam mínimas as perdas por percolação para baixo da espessura de aprofundamento radical.

A Fig. 5.1 ilustra o que acaba de se descrever. A menor diferença da ordenada (tempo) entre a curva A de avanço e a curva R de recessão é τ_L , no fim do sulco. Para que a rega seja suficiente, basta que o tempo de infiltração seja τ_D , em vez de τ_L o que se consegue antecipando de Δt o início da recessão, passando a respectiva curva para a posição RN.

O volume da água gasto na rega ou volume de alimentação da parcela será então reduzido de

$$\Delta V = Q_0 \cdot \Delta t \quad (5.6)$$

O que em muitos casos se reflete num aumento importante da eficiência de aplicação. Pode no entanto dar-se o contrário, isto

é, τ_L ter sido na rega em análise menor que τ_D , o que torna necessário, para a dotação ser suficiente no fim do sulco, aumentar de Δt o tempo de alimentação da parcela.

A suficiência da dotação em todo o comprimento da parcela pode no entanto obter-se por alteração do referido comprimento para um valor ao qual corresponda $\tau_L = \tau_D$. O programa da análise conjunta, na procura das qualidades potenciais da rega, as duas hipóteses: alteração do tempo de alimentação e do comprimento do sulco.

5.1.3. Opção "cut-back"

Esta possibilidade de usar a técnica de "cut-back" para aumentar a eficiência de aplicação não é considerada na análise, tal como até agora foi descrita. Esta técnica é, no entanto, uma opção a ter em conta, pois verificou-se geralmente que uma boa parte do volume gasto na rega se perdia como excedente no fim da parcela.

O "cut-back" consiste em reduzir o módulo parcelar quando estiver prestes a terminar a fase de avanço; portanto pratica-se durante a fase de manutenção. Em teoria, o "cut-back" mais perfeito seria uma redução contínua do caudal. Para facilitar a aplicação de campo, admite-se contudo que se faz em duas etapas, sendo assim a alimentação feita em três etapas: de avanço com caudal Q_0 , de manutenção com caudal reduzido Q_{r1} , de manutenção com caudal reduzido Q_{r2} . Os tempos, que somam os tempos de alimentação da parcela, serão: τ_L , τ_{c1} e τ_{c2} . Assim, o volume de água gasto na rega ou volume de alimentação da parcela será

$$V_a = Q_0 \cdot \tau_L + Q_{r1} \cdot \tau_{c1} + Q_{r2} \cdot \tau_{c2} \quad (5.7)$$

é preciso agora definir critérios que permitam a determinação de Q_{r1} , Q_{r2} , τ_{c1} e τ_{c2} . A soma destes dois últimos é a duração da fase de manutenção; portanto, em conjunto com a duração das fases de recessão (fig. 5.1), somam o tempo útil de infiltração τ_D :

$$\tau_D = \tau_{c1} + \tau_{c2} + (t_{rLn} - t_{an}) \quad (5.8)$$

onde apenas τ_{c1} e τ_{c2} são desconhecidos. Sendo a fase de manutenção, cuja duração é $t_{cn} - t_L$, aquela em que se realiza o "cut-back", se tem:

$$\tau_{c1} + \tau_{c2} = t_{an} - t_L \quad (5.9)$$

e pode arbitrar-se qualquer relação de grandeza entre os dois intervalos; no seguimento far-se-á $\tau_{c2} = 2 \cdot \tau_{c1}$.

Para maior perfeição deveria reduzir-se continuamente o caudal de manutenção, na medida em que se reduz a infiltrabilidade. Mas a redução contínua só será viável com mecanismos automáticos de controlo do caudal parcelar. Enquanto o comando da alimentação se fizer manualmente, as alterações serão em número restrito, compatível com a economia de mão-de-obra. Se forem duas as etapas, justifica-se que a primeira seja mais curta que a segunda, já que a infiltrabilidade irá sendo cada vez mais estável ao longo da fase de manutenção, tendendo para o valor constante característico. A relação 2/1 entre as durações das duas fases é arbitrária, escolhida para facilitar a exposição, mas pode também servir de ponto de partida para futura experimentação.

Quanto aos caudais de manutenção, é claro que eles devem ser os necessários e suficientes para manter a infiltração durante a respectiva etapa. Logo, eles serão directamente determinados pela taxa de infiltração média \bar{i} que então se verificar:

$$Q_r = \bar{i} \cdot L \quad (5.10)$$

onde Q_r é o caudal reduzido (l/min), \bar{i} a infiltrabilidade média (l/m.min) e L o comprimento do sulco (m).

Para determinar o valor de \bar{i} é preciso atender a que são decrescentes da cabeceira para jusante os tempos de infiltração já decorridos, em dado momento, ao longo do sulco. Quando se inicia o "cut-back", a cabeceira do sulco está sob infiltração há t_L minutos.

e no mesmo momento o fenómeno está apenas a iniciar-se no fim do sulco. O valor médio do tempo de infiltração depende da forma como se deu o avanço, pelo que deve determinar-se o valor médio de i para todas as estações de controlo; este valor médio é calculado a partir da equação da infiltração e dos tempos de avanço registados.

Porque a duração da fase de manutenção é $\tau_p = t_{an} - t_L$ (fig. 5.2), as duas etapas de "cut-back" duram, de acordo com a relação de grandeza acima arbitrada:

$$\tau_{c1} = \frac{t_{an} - t_L}{3} \quad \text{e} \quad \tau_{c2} = 2 \cdot \tau_{c1} \quad (5.11)$$

o que permite determinar o momento oportuno para a segunda redução de caudal:

$$t_b = t_L + \tau_{c1} \quad (5.12)$$

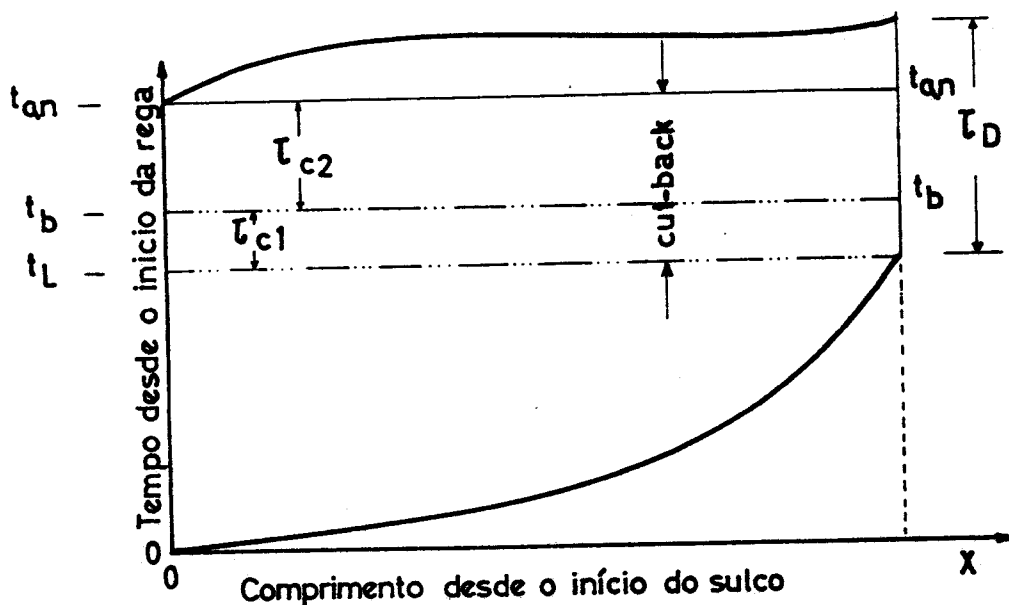


Fig. 5.2 - Tempos de rega, com "cut-back" a iniciar-se no fim da fase de avanço

Qualquer que seja a equação de infiltração acumulada $I=I(t)$, a infiltrabilidade média no intervalo τ e em dada estação é

$$\bar{i}_\tau = \frac{I(\tau)}{\tau} \quad (5.13)$$

Ao longo do sulco, de uma para outra estação de controlo, a duração τ do intervalo de infiltração varia com a forma da curva de avanço, isto é, depende dos tempos de avanço t_x que se verificaram. Assim, durante a primeira etapa, de duração $\tau_{c1}=t_b-t_L$, a infiltrabilidade média em cada x determina-se por

$$\bar{i}_{1x} = \frac{I(t_b-t_x) - I(t_L-t_x)}{t_b - t_L} \quad (5.14)$$

e a infiltrabilidade média, no mesmo intervalo, relativa a todo o comprimento L do sulco, será

$$\bar{i}_1 = \frac{\sum_{x=1}^N \bar{i}_{1x}}{N} \quad (5.15)$$

sendo N o número de estações de controlo. O caudal de manutenção nesta etapa será então

$$Q_{r1} = L \cdot \bar{i}_1 \text{ (l/min)} \quad (5.16)$$

As equações correspondentes à segunda etapa são: para a infiltração em cada estação

$$\bar{i}_{2x} = \frac{I(t_{an}-t_x) - I(t_b-t_x)}{t_{an} - t_b} \quad (5.17)$$

e, para a infiltrabilidade média em L

$$\bar{i}_2 = \frac{\sum_{x=1}^N \bar{i}_{2x}}{N} \quad (5.18)$$

vindo finalmente o caudal reduzido dado por:

$$Q_{r2} = L \cdot \bar{i}_2 \quad (5.19)$$

A qualidade de rega que melhora com a prática do "cut-back" é evidentemente a eficiência de aplicação. A melhoria deve-se à diminuição importante do volume de alimentação do sulco, que agora é dado por

$$V_a = Q_0 \cdot t_L + Q_{r1} \cdot \tau_{c1} + Q_{r2} \cdot \tau_{c2} \quad (5.20)$$

e a eficiência de aplicação é

$$e_a = \frac{V_u}{V_a} \quad (5.21)$$

A análise que se acaba de descrever foi aplicada, "a posteriori", às regas feitas no âmbito do presente trabalho. O Quadro 5.1 é um exemplo do "output" obtido. Note-se que, para além da verificação do balanço volumétrico e da correcção da equação da infiltração de acordo com ele, é feita a análise das quantidades de rega verificadas (no ensaio realizado) e potenciais sem e com "cut-back", sem e com encurtamento do sulco.

É de realçar no entanto que cada análise se refere a condições específicas a que é indispensável atender: ela só é válida para as condições experimentadas de módulo parcelar Q_0 , declive, espaçamento entre sulcos, rugosidade da superfície, geometria da secção transversal e equação da infiltração. Ainda assim, o programa

QUADRO 5.1

EXEMPLO DE "OUTPUT" DO PROGRAMA DE OPTIMIZAÇÃO
DAS QUALIDADES DA REGA, COM "CUT-BACK"

ANALISE DAS QUALIDADES DA REGA TR13 Equação de KOSTIAKOV

TESTE DA EQ. DA INF. POR VERIFIC. DO BAL. VOLUM.

S0= .005 Espaçamento 1.5 m Dotação 30 mm = 45 l/m
Q0 = 1.16 l/s ta = 345 min Va = 24012 litros

Equação da Infiltração: k= 14.279 a= .382 if= 0 ELW 55B T1.5
Comprimento Tempos (minutos) Z (l/m)
(m) Avanço Recessão Infiltr.

Comprimento (m)	Avanço	Recessão	Infiltr.	Z (l/m)
0	0	345	345	133
20	8	354	346	133
40	23	359	336	132
60	54	367	313	128
80	90	374	284	124
100	111	380	269	121
120	156	383	227	113
140	194	386	192	106
160	224	388	164	100
180	284	390	106	85
200	320	392	72	73

Verificação do balanço volumétrico:

Vols. medidos V1= 7930 l V2= 1100 l V3= 0 l
Vi obs.= 22912 Vi calc.= 22940 ERRO= 28 = 0 %

Qualidades p/ D = 45 l/m

Verificadas:

L= 200 m; Vu = 9000 l; Vf= 1072 l; Ve= 1100 l; Vp= 13912 l
C. unif. Christ.= .87 Eficiências: ei = .39 ea = .37

Potenciais, sem cut-back:

L m	Ta min	Volumes, litros					C.unif. Christ.	Efics.	
		Va	Vu	Vi	Vf	Vp		ei	ea
100	96	6682	4500	7010	-328	2510	.85	.64	.67
120	138	9605	5400	9670	-65	4270	.86	.56	.56
140	173	12041	6300	12110	-69	5810	.85	.52	.52
160	201	13990	7200	14310	-320	7110	.83	.5	.51
180	259	18026	8100	17980	46	9880	.84	.45	.45
200	293	20393	9000	20580	-187	11580	.82	.44	.44

Opção cut-backs:

L (m)	Q0 (l/s)	ta (min)	Qr1 (l/s)	tb (min)	Qr2 (l/s)	tc (min)	Va (l)	ea
100	1.16	76	.54	83	1.07	96	6359	.71
120	1.16	118	.93	125	.75	138	9187	.59
140	1.16	153	1.61	160	.95	173	12051	.52
160	1.16	181	.7	188	1.3	201	13919	.52
180	1.16	239	.91	246	.81	259	17651	.46
200	1.16	273	.69	280	1.4	293	20400	.44

pode ser de enorme utilidade no aperfeiçoamento das regas com base na análise duma rega anterior. Isto porque, por um lado, vários parâmetros da rega se mantêm num dado campo: o declive e o espaçamento entre sulcos; por outro lado, podem desprezar-se, a partir da segunda rega, as variações de geometria, de rugosidade e da equação da infiltração. Resta experimentar diversos caudais. As qualidades ir-se-ão aperfeiçoando de uma rega para a seguinte.

5.1.4. Aplicação ao controlo directo e automático dos sistemas

A análise que se acaba de descrever pressupõe o conhecimento de uma equação da infiltração, introduzida como "input" no programa. Por outro lado, a análise recai sobre uma rega feita e as conclusões serão aplicadas na rega seguinte. No entanto, o programa adapta-se a ser executado ao terminar a fase de avanço, de modo a que as conclusões sejam imediatamente úteis, nomeadamente no que respeita ao fim da alimentação da parcela e a prática do "cut-back".

A equação da infiltração é determinada pelo método de Elliott e Walker (1982), para o que o respectivo programa, já descrito noutra capítulo, é agora incorporado no programa de análise.

Interessa conhecer a curva de recessão, porque os seus pontos são os maiores tempos de rega, ou limites superiores dos tempos de infiltração, para cada ponto ao longo do sulco. Porém a curva não será conhecida quando o programa for executado ao terminar a fase de avanço, como é preciso para o controlo directo e automático. É então necessário que o programa contenha alguma previsão da fase de recessão, a qual se baseará em considerar que a curva de recessão será semelhante ou às observadas em outras regas com condições semelhantes às da rega em curso, ou à curva de recessão simulada por modelo, quando for esse o caso. O erro que assim se introduz não é importante, porque será de alguns minutos aos quais, relativamente ao tempo total de rega, corresponderá um erro reduzido no cálculo dos volumes infiltrados.

Completada a fase de avanço, introduzem-se no programa, como "input" directo, os tempos de avanço, que terão acabado de ser determinados, as profundidades da toalha e eventualmente caudais medidos nas estações principais. Executando o programa, obter-se-ão, como "output", em poucos segundos: a) a equação da infiltração pelo método de Elliott e Walker; b) a análise das qualidades da rega em curso e a indicação do tempo conveniente de alimentação da parcela; c) a duração das etapas de "cut-back" e os respectivos caudais de manutenção. Finalmente regula-se, de acordo com a alínea c), o sistema de alimentação dos sulcos.

O método de alimentação dos sulcos poderá ser um qualquer que permita modificação do módulo parcelar. Os mais adequados serão, enquanto o controlo se fizer manualmente, o dos pequenos sifões (de preferência vários pequenos sifões por sulco) e o tubo de janelas reguláveis. Qualquer deles se pode adaptar facilmente à regulação manual do caudal, de acordo com o "output" do programa: no caso dos sifões, a redução fae-se-á retirando de serviço um ou mais dos pequenos sifões; no caso do tubo, o efeito pretendido consegue-se por redução da abertura das janelas.

A técnica que se acaba de descrever exige a disponibilidade de um computador no próprio campo. Isto já é fácil, com recurso a alguns tipos de microcomputadores. A utilidade potencial é grande, mas na prática limitada enquanto se fizer manualmente a regulação do sistema de alimentação.

Um desenvolvimento da técnica permitirá a sua aplicação ao controlo automático da rega por sulcos. Tal automatização pressupõe, no entanto, a utilização de equipamento suplementar, que a seguir se refere.

É preciso automatizar o fornecimento ao programa de dados que ele recebe como "input". Isto requer a existência, em cada estação de controlo, de sensores que possam transmitir ao computador um sinal de chegada (no avanço) ou de retirada (na recessão) da toalha de água e de medição da profundidade e/ou caudal nas estações

principais. O sensor colocado a meio comprimento do sulco deve transmitir uma indicação da profundidade da água, que servirá ao cálculo do perímetro molhado e da área da secção transversal. Duas placas electrónicas recebem os sinais dos sensores e introduzem no programa os correspondentes valores dos tempos de avanço ou de recessão.

Outros componentes electrónicos fazem a transmissão de sinais no sentido contrário, do computador para o equipamento que na cabeceira dos sulcos fará a regulação dos caudais aplicados. Serão provavelmente utilizáveis dois processos de fazer a alimentação dos sulcos: tubo de janelas de aberturas reguláveis e pequenos sifões encurvados em vala ou caldeira onde se possa praticar a diminuição da carga hidráulica nos sifões. Terá de se completar o sistema com um componente electromecânico que reduza a abertura das janelas, ou a pressão no tubo ou na caldeira de acordo com os sinais transmitidos pelo computador.

Ao tratar-se do controlo manual, consideram-se duas etapas de execução de "cut-back". Agora, sendo o comando executado imediata e automaticamente, pode aumentar-se quanto se queira o número das etapas de redução do caudal, aproximando-se da redução contínua, que seria o ideal. Na prática, será viável e mais que suficiente o controlo minuto a minuto, o que se traduzirá na redução praticamente contínua do módulo parcelar. A eficiência de aplicação será optimizada, atingindo-se os objectivos de minimizar o consumo de água, de energia e de trabalho.

5.2. DESENVOLVIMENTO FUTURO DA INVESTIGAÇÃO

A presente dissertação foi concebida essencialmente como o relatório da primeira fase do projecto de investigação da rega por sulcos em solos Argiluvitados do Alentejo. Caracterizou-se o solo e as condições do escoamento; obtiveram-se conhecimento e experiência que permitem propor alterações na prática da rega de superfície no Alentejo e projectar sistemas que realizem as soluções propostas. Mas o projecto de investigação continua e parece adequado apontar aqui as principais linhas do seu desenvolvimento

Antes de mais, o conhecimento já existente deve ser levado aos agricultores e aplicado. Isto não é, claro, âmbito do projecto de investigação, antes o será de um projecto de Extensão Rural, mas mesmo aí a Engenharia tem de estar disponível para calcular e propor a solução para cada caso. Apoiando directamente a actividade da Extensão Rural, devem organizar-se campos de demonstração onde se apliquem soluções típicas de organização do terreno para a rega por sulcos, para a drenagem e para a conservação do solo e as técnicas já conhecidas de alimentação dos sulcos e de controlo da rega.

É preciso também generalizar esta experimentação a outras condições de solo e de topografia, o que aliás já está a ser feito. Por outro lado, muito do conhecimento ora adquirido será útil no desenvolvimento de outros métodos de rega de superfície, nomeadamente o das faixas, adequado à rega de prados permanentes, que será conveniente investigar também.

A última secção do subcapítulo 5.1, descrevendo um método de automatização que ainda não existe, perspectiva uma linha de trabalho que se afigura de grande interesse. Ela terá de ser desenvolvida em colaboração com departamento competente e interessado no desenvolvimento e aplicação do equipamento electrónico referido.

Refira-se o possível interesse de estudar a técnica de "surge-flow" e a sua aplicação, nomeadamente ao solo Argiluvitado. Pode pensar-se que este tipo de solo, por não verificar grandes

perdas por percolação profunda, não beneficiará da redução da infiltrabilidade que é o efeito do "surge-flow". No entanto, se se tiver em atenção a especificidade do avanço e suas consequências na infiltração, conforme se descreveu no capítulo 3, admitir-se-á que pode ser vantajoso reduzir pelo "surge-flow" a infiltrabilidade do horizonte A durante a fase de avanço. Esta será então mais curta, do que resultarão maiores eficiência e uniformidade. A este efeito poderá juntar-se o da prática posterior, na fase de permanência, da técnica de "cut-back" que já se descreveu. A conjugação das duas técnicas requererá, no entanto, equipamento próprio que será preciso desenvolver.

Finalmente, mas não que seja menos importante, refere-se a necessidade de se continuar o estudo da infiltração em sulcos. Na presente dissertação descreveu-se o fenómeno mediante equações de origem empírica, obtidas por vários processos. Analisaram-se esses processos, mas há outros que merecem ser estudados, nomeadamente o de Elliott et al. (1983) e o de Burt et al. (1982), oportunamente referidos. De igual modo, merece desenvolvimento o estudo da infiltração em sulcos por modelação matemática, completada por determinação das condições hidrodinâmicas do solo.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABECASIS, F. (1973): Propagação de ondas em rios, canais e albufeiras. Lisboa, L.N.E.C., Curso de Especialização n° 146
- BERTHOME, P. (1986): étude de l'infiltration en irrigation a la raie pour la conduite optimal d'un arrosage. Institut National Polytechnique de Toulouse/CEMAGREF. En préparation pour D.E.A.
- BESSA, M. R. T. (1969): Possibilidades e limitações da Região - Plano Sul. I Encontro Sobre o Desenvolvimento Regional da Região - Plano Sul. Évora.
- BISHOP, A. A. (1980): Irrigation surge-flow. U.S.U., Utah Science, vol. 41, n° 2, 60-64
- BLAIR, A. W.; REDDELL, D. L. (1983): Evaluation of empirical infiltration equations for blocked furrow infiltrometers. ASAE Winter Meeting, Chicago, Paper 83-2521
- BURT, C. M.; ROBB, G. A.; HANON, A. (1982): Rapid evaluation of furrow irrigation efficiencies. ASAE Winter Meeting, Chicago, Paper 82-2537
- CARDOSO, J. V. J. C. (1965): Os solos de Portugal: sua classificação, caracterização e génese: I - A sul do rio Tejo. Lisboa, Direcção Geral dos Serviços Agrícolas.

- CHRISTIANSEN, J.E. et al. (1966): Evaluation of intake rate constants as related to advance of water in surface irrigation. Transactions ASAE, 9(5), 671-674
- CLEMMENS, A. J.; STRELKOFF, Th. (1979): Dimensionless advance for level-basin irrigation. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, 105(IR3), 259-273
- COLLINS, H. G.; KOLUVEK, P. K. (1981): Design of furrow or corrugation systems using SCS techniques. ASAE Winter Meeting, Paper 82-2551
- CRUZ, A. H. (1987): Caracterização hidropedológica dum solo Argiluvado para aplicação a estudos de rega por sulcos; ensaio preliminar de "surge-flow". Universidade de Évora, Trabalho de Fim de Curso.
- ELLIOTT, R. L. (1981): Zero-inertia furrow irrigation modeling applied to the derivation of infiltration parameters. Fort Collins. Col. S. U., PhD Dissertation.
- ELLIOTT, R. L. et al. (1982): Zero-inertia modeling of furrow irrigation advance. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, 108(IR3), 179-195
- ELLIOTT, R. L.; WALKER, W. R.; SKOGERBOE, G. (1983): Furrow irrigation advance rates; a dimensionless approach. Transactions ASAE, 26(6), 1722-1725, 1731
- ELLIOTT, R. L.; WALKER, W. R.; SKOGERBOE, G. (1983): Infiltration parameters from furrow irrigation advance data. Transactions ASAE, 26(6), 1726-1731

- ELLIOTT, R. L.; EISENHAUER, D. E. (1983): Volume-balance techniques for measuring infiltration in surface irrigation. ASAE Winter Meeting, Chicago, Paper 83-2520
- ELLIOTT, R. L.; WALKER, W. R. (1982): Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. Transactions ASAE, 25(2), 396-400
- ESSAFI, B. (1982): A recursive volume-balance model for continuous and surge-flow irrigation. Logan, Utah, U.S.U., M.Sc. Thesis.
- FANGMEIER, D. D.; RAMSEY, M. K. (1978): Intake characteristics of irrigation furrows. Transactions ASAE, 21(4), 696-700
- FANGMEIER, D. D.; STRELKOFF, Th. (1979): Mathematical models and border irrigation design. Transactions ASAE, 22(1), 93-99
- FOK, Y.S. (1985): Sorptivity variation during infiltration. Transactions ASAE, 28(6), 1808-1810
- FOK, Y.S.; BISHOP, A. A. (1965): Analysis of water advance in surface irrigation. Proceedings of the Am. Soc. Eng., 91, pp. 99-116
- FOK, Y.S.; CHIANG, S. (1984): 2-D infiltration equations for furrow irrigation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 110(IR2), 208-217
- FONKEN, D. W. et al. (1980): Mathematical model of border irrigation. Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE, 106(IR3), 203-220

- HART, W.E. ; BASSETT, D. L.; STRELKOFF, Th. (1969): Surface irrigation hydraulics kinematics. Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE, 94(IR4), 419-440
- HART, W.E. et al. (1982): Design and operation of gravity or surface systems. In JENSEN, M.E. (editor): Design and operation of farm irrigation systems, St. Joseph, Mi., ASAE monograph, cap. 13, pp. 501-580
- HAVERKAMP, R. (1983): Résolution de l'équation de l'infiltration de l'eau dans le sol: approches analytiques et numériques. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, Institut National Polytechnique, These pour Docteur es-Sciences Physiques.
- HORTON, R. E. (1939): Analysis of runoff plot experiments with varying infiltration capacity. Trans. Am. Geophys. Union, Part IV, pp. 693-694
- JAYNES, D. B. (1987): Fitting the power function to data. Transactions ASAE, vol, 30(2), 415-416
- KATOPODES, N. D. (1974): Shallow water equations at low Froude numbers. Davis, California S. U., M.Sc. Thesis.
- KATOPODES, N. D.; STRELKOFF, Th. (1977): Hydrodynamics of border irrigation; complete model. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, 103(IR3), 309-324
- KATOPODES, N. D.; STRELKOFF, Th. (1977): Dimensionless solutions of border-irrigation advance. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, 103 IR(4), 401-417

- KOSTIAKOV , A. N. (1932): On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration. Transactions 6th Com. Interna. Soil Sci. Soc., Russian Part A, pp. 17-21
- LEAL, G. M. F. (1983): A complete irrigation model for open furrows using zero inertia. Wageningen, Agricultural University. M.Sc. Thesis.
- LEE, T.S. (1982): Kinematic simulation of furrow advance and recession. Logan, Utah S. U.. M.Sc. Thesis.
- LEWIS, M. R. (1937): The rate of infiltration of water in irrigation practice. Transactions Am. Geophys. Union, 18, pp. 361-368
- LEWIS, M. R.; MILNE, W. E. (1938): Analysis of border irrigation. Agricultural Engineering, 19, pp 267-272
- MALANO, H. M. (1982): Comparison of the infiltration process under continuous and surge-flow. Logan, Utah S. U., M.Sc. Thesis.
- MELLO, F. C. M. (1984): A infiltração em condições de submersão; uma aproximação numérica ao método de Philip. Recursos Hídricos, Lisboa, APRH, vol. 5, n° 1, 79-93
- MELLO, F. C. M.; LÚCIO, J. L. N. (1985): Caracterização hidrodinâmica in situ de um solo Pmg(A1); Ensaio prévio. Recursos Hídricos, Lisboa, APRH, vol, 6, n° 1, 65-79
- MOSTAFAZADEHFARD, B. (1982): Furrow geometry and roughness under surge and continuous flow. Logan, Utah S. U., M.Sc. Thesis.

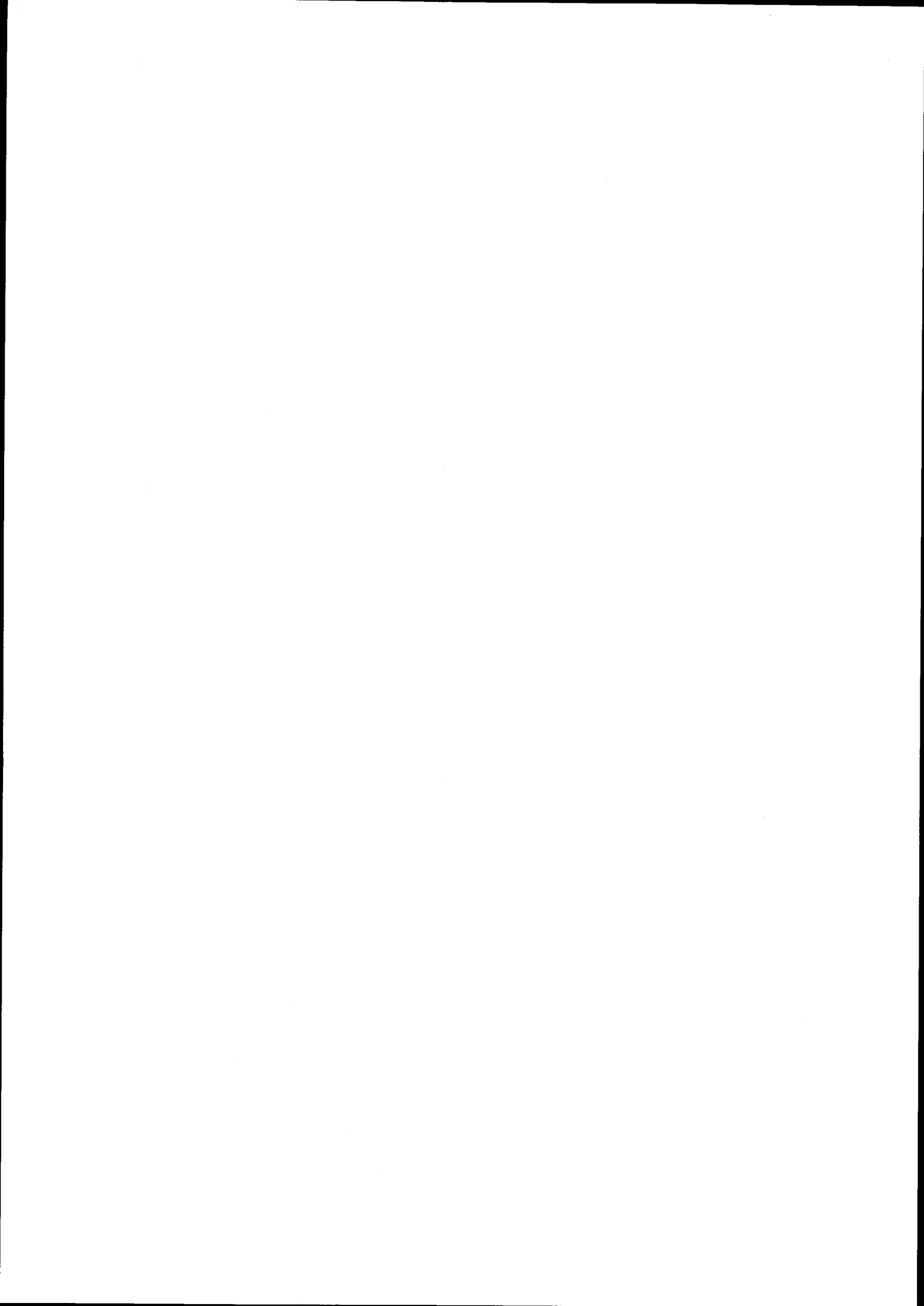
- PHILIP, J. R. (1957): The theory of infiltration: 1 - The infiltration equation and its solution. Soil Science, 83, pp. 345-359
- PHILIP, J. R. (1969): Theory of infiltration. In CHOW, V.T. (editor), Advances of Hydroscience, New York, Academic Press
- REPLOGLE, J.A.; BOS, M.G. (1982): Flow measurement flumes; applications to irrigation water measurement. In HILLEL, D. (editor): Advances in Irrigation, vol. 1, New York, Academic Press, pp. 148-217
- SAKKAS, J. C.; STRELKOFF, Th. (1974): Hydrodynamics of surface irrigation; advance phase. Journal of the Irrigation and Drainage, ASCE, 100(IR1), 31-48
- SAMANI, Z. A. et al. (1985): Numerical solution for unsteady two-dimensional infiltration. Transactions ASAE, 28(4), 1186-1190
- SANTOS JÚNIOR, A. G. (1971): Aspectos teóricos da drenagem. Uma aplicação teórica hidráulica dos escoamentos porosos. Lourenço Marques. U.L.M.
- SILVA, A. A. (1971): Estudo de laboratório de um sistema de drenagem num solo pesado. In FAO: El drenaje de los suelos pesados. Estudio FAO Riego y Drenaje n° 6, pp. 14-24
- SKAAGS, R. W.; MILLER, D. E.; BROOKS, R. H. (1980): Soil Water, Part I - Properties. In JENSEN, M. E. (editor): Design and operation of farm irrigation systems. St. Joseph, Mi., ASAE monograph 3, pp. 77-123

- SOIL CONSERVATION SERVICE USDA (1979): Furrow irrigation. Soil C. Natl. Eng. Handbook, cap. 5
- SOUZA, F. (1981): Nonlinear hydrodynamic model of furrow irrigation. Davis, Calif., U.C.D., PhD Dissertation
- STRELKOFF, Th. (1970): Numerical solution of Saint-Venant equations. Journal of the Hydraulics Division, ASCE, 96(HY1), 223-252
- STRELKOFF, Th. (1977): Algebraic computation of flow in border irrigation. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, 103(IR3), 357-377
- STRELKOFF, Th.; CLEMMENS, A. (1981): Dimensionless stream advance in sloping borders. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, 107(IR4), 361-382
- STRELKOFF, Th.; KATOPODES, N. D. (1977): Border irrigation hydraulics with zero inertia. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, 103(IR3), 325-342
- STRELKOFF, Th.; SOUZA, F. (1984): Modeling effect of depth on furrow infiltration. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 110(IR4), 375-387
- TABUADA, M. A. (1986): Modelação bidimensional da infiltração na rega por gravidade: aplicação ao sulco infiltrómetro. Lisboa. I.S.T./U.T.L.. Tese para o grau de Mestre.
- TANGARRINHA, J. M. (1979): Levantamento dos Solos. Projecto de Drenagem e Conservação do Solo no Alentejo - Relatório Técnico, Anexo 11, Évora, Universidade de Évora.

- TROUT, Th. J.; KEMPER, W. D. (1983): Factors which affect furrow intake rates. In Advances in Infiltration, St. Joseph, Mi., ASAE, 302-312
- WALKER, W. R. (1984): Kinematic-wave furrow irrigation model. Logan, Utah S. U., Programa FORTRAN.
- WALKER, W. R.; HUMPHERYS, A. S. (1983): Kinematic-wave furrow irrigation model. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 109(IR4), 377-392
- WALKER, W. R.; LEE, T. S. (1981): Kinematic-wave approximation of surged furrow advance. ASAE Winter Meeting, Paper 81-2544
- WALKER, W. R.; SKOGERBOE, G. (1982): Theory and practice of surface irrigation, Logan, Utah S. U., textbook
- WU, I. ; BISHOP, A. A. (1970): Graphic relation of intake, length of run and time. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, vol. 96(IR3), 233-240
- WU, I. (1983): Determine furrow infiltration and its application on cut back inflow systems. ASAE Winter Meeting, Paper 83-2515

ANEXOS

- A - Fotografias**
- B - Programas de computador**
- C - Quadros de resultados**
- D - Alguns dados de campo**



ANEXOS A - FOTOGRAFIAS

Foto 1 - Perfilômetro de Walker e Skogerboe

Foto 2 - Perfilômetro de régua flexível

Foto 3 - Infiltrômetro de sulco bloqueado

Foto 4 - Infiltrômetro de sulco com retorno

Foto 5 - Estação principal, com limnígrafo e régua em T

Foto 6 - Equipamento de alimentação dos sulcos
e controlo dos caudais nas cabeceiras

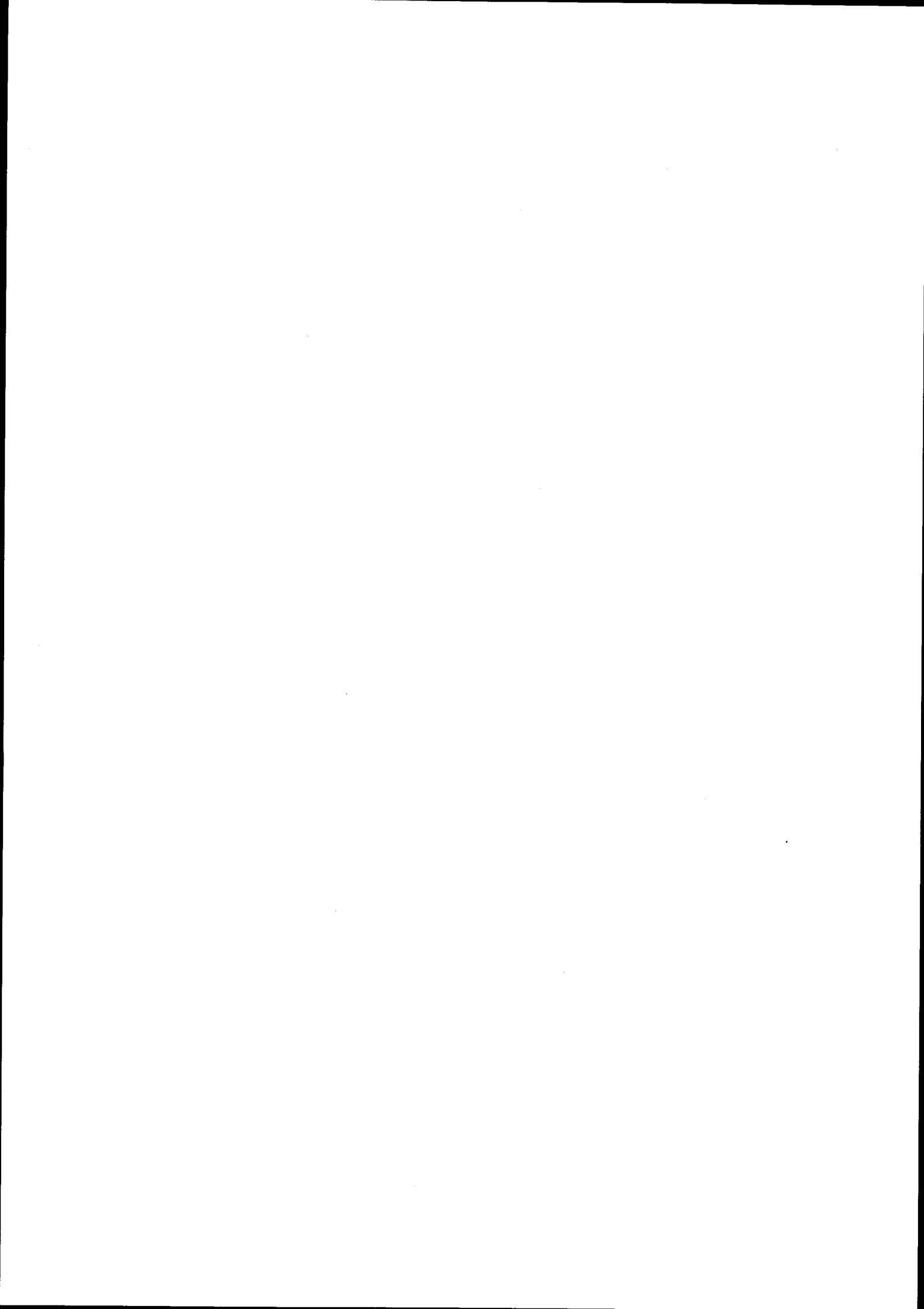




Foto 1 - Perfilômetro de Walker e Skogerboe



Foto 2 - Perfilômetro de régua flexível;
em cima: moldagem da régua ao sulco
em baixo: desenho

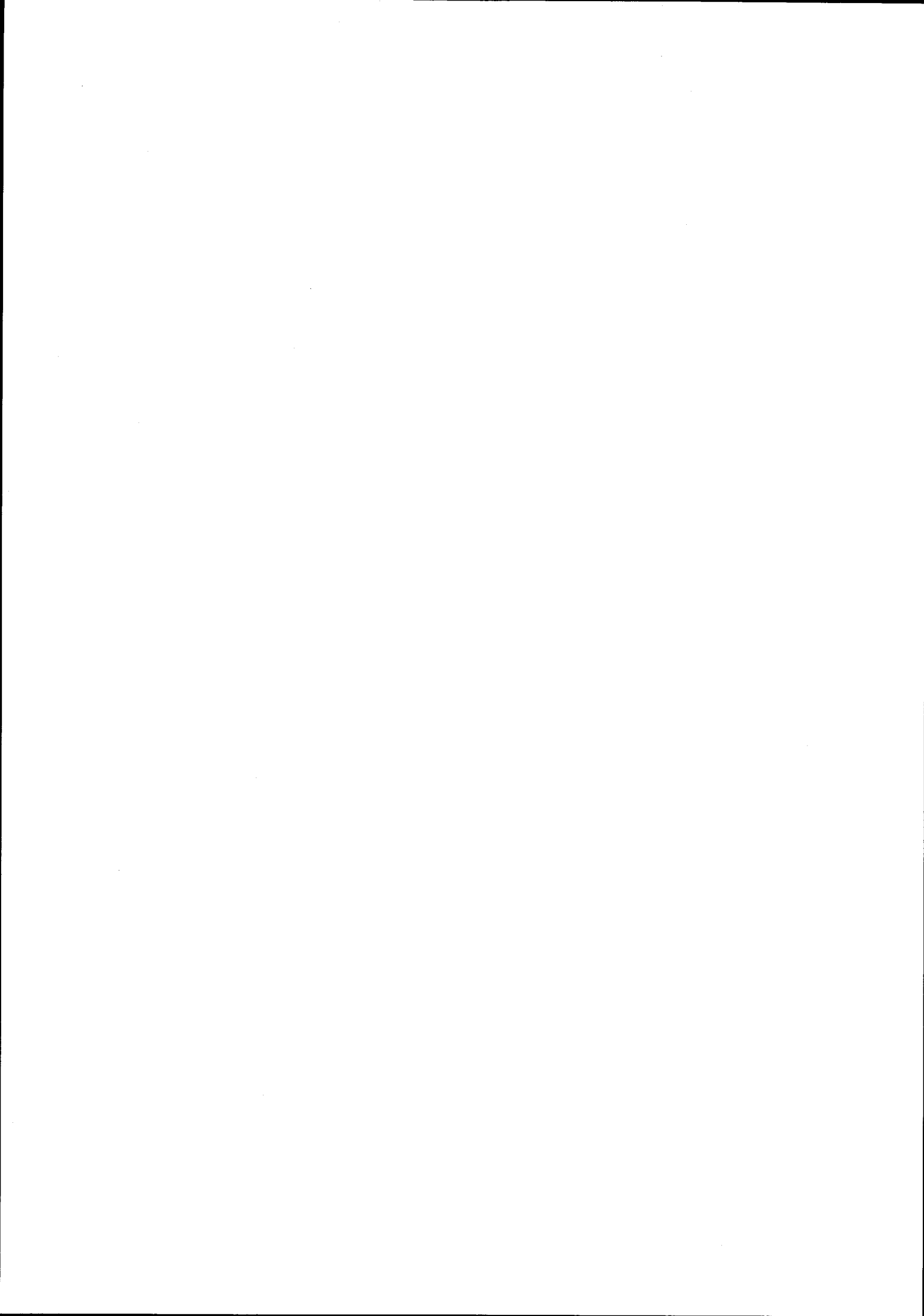




Foto 3 - Infiltrômetro de sulco bloqueado



Foto 4 - Infiltrômetro de sulco com retorno

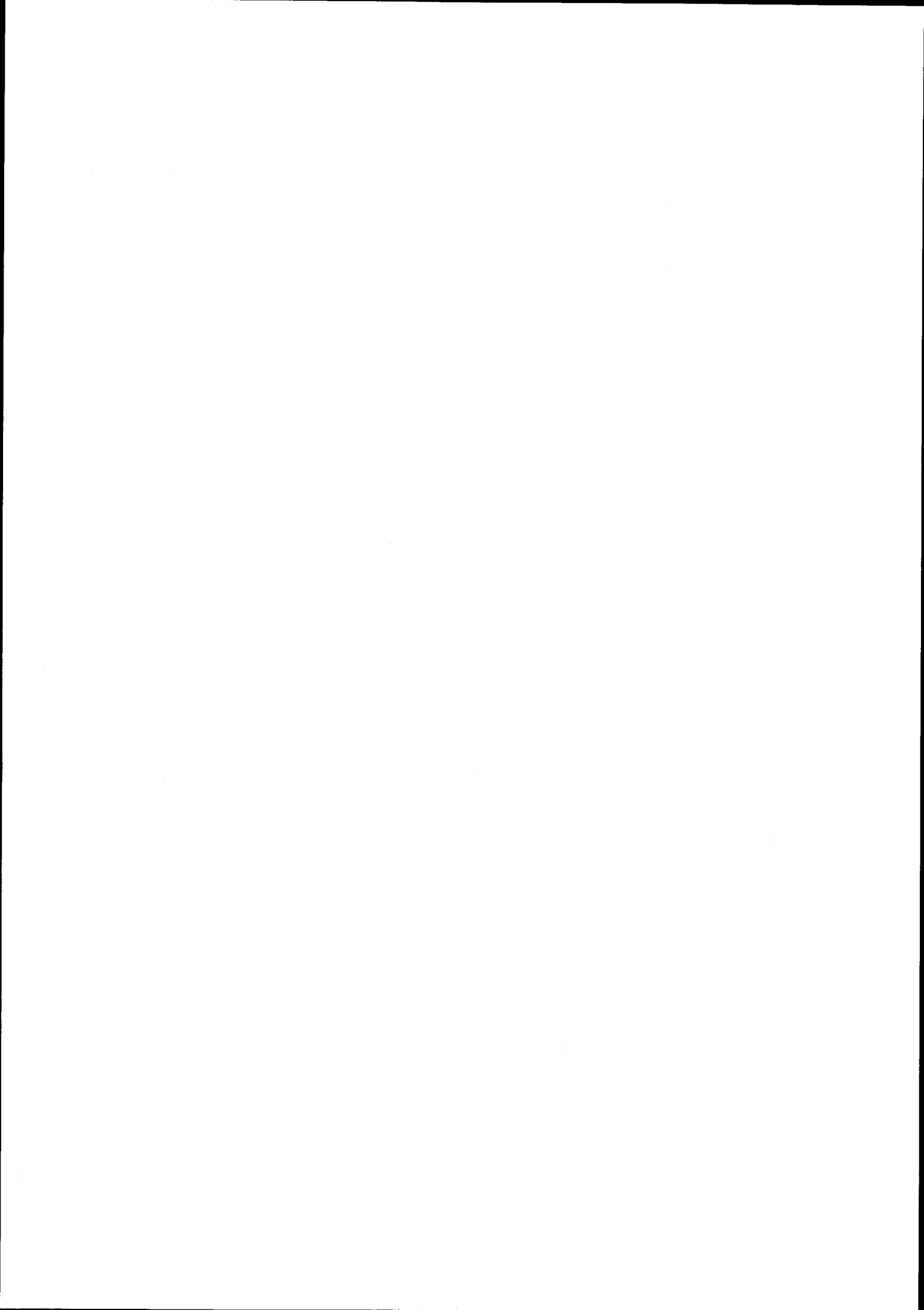
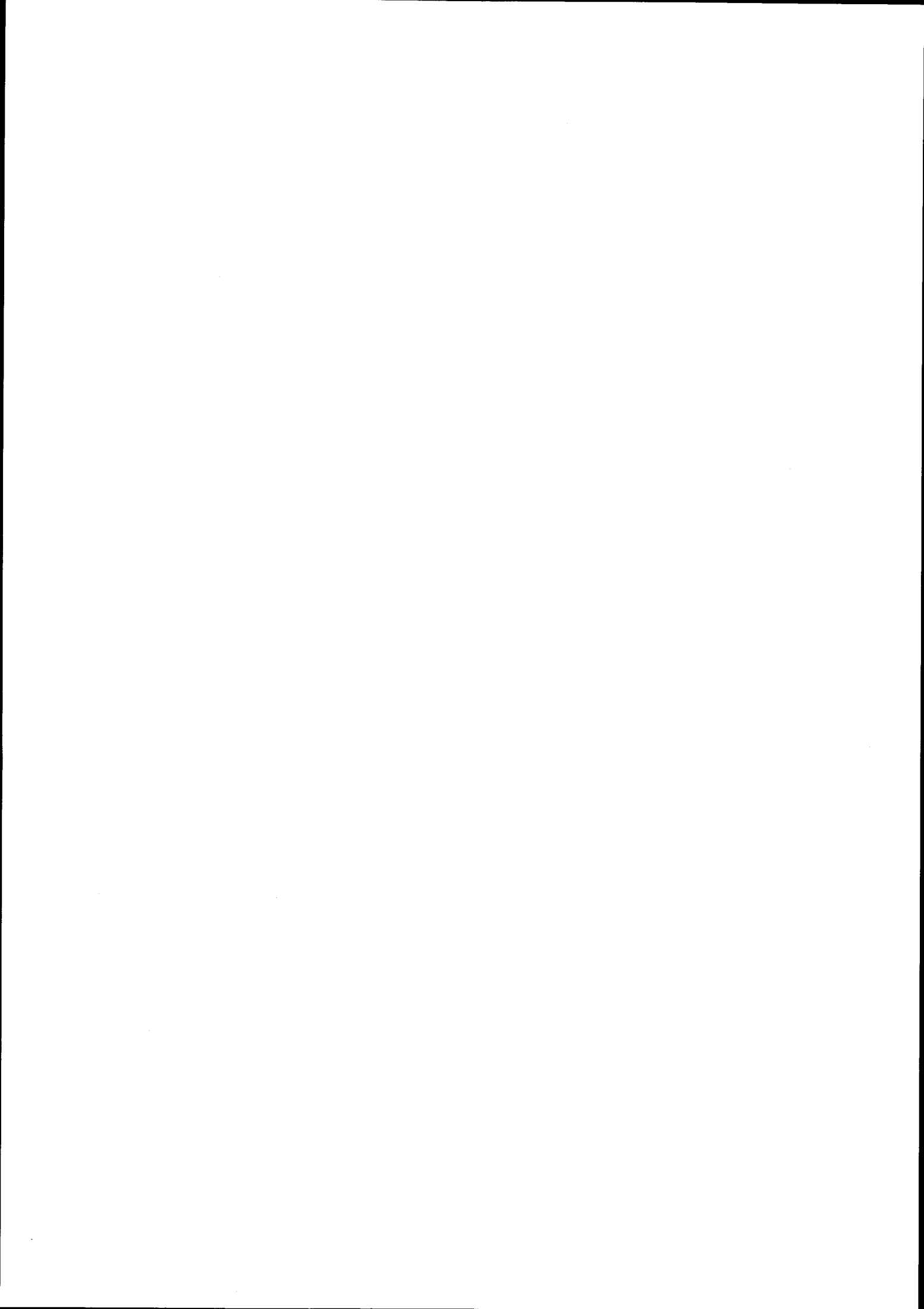




Foto 5 - Estação principal, com limnógrafo e régua em T



Foto 6 - Equipamento de alimentação dos sulcos e controlo dos caudais nas cabeceiras



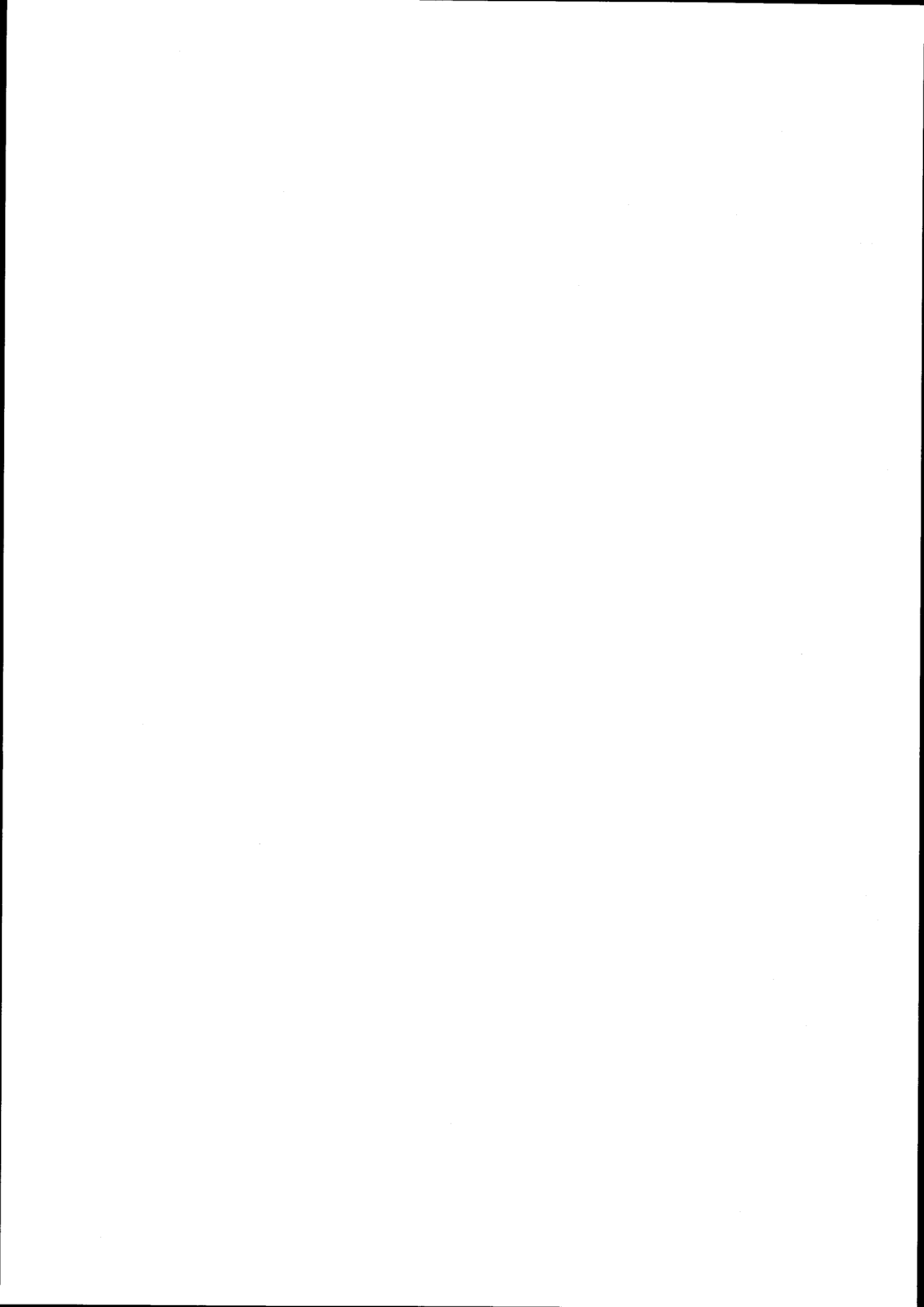
ANEXOS B - PROGRAMAS DE COMPUTAÇÃO

B2.1 - Programa SECCAO para obter as equações-potências do perímetro e da área da secção transversal dos sulcos

B3.1 - Programa EQSINF.ELW para obter as equações da infiltração pelo método extendido de balanço volumétrico de Elliott e Walker

B3.2 - Programa INFILTR para obter as equações da infiltração a partir dos dados de infiltrômetros

B4.1 - Programa ANREGA para análise das qualidades das regas



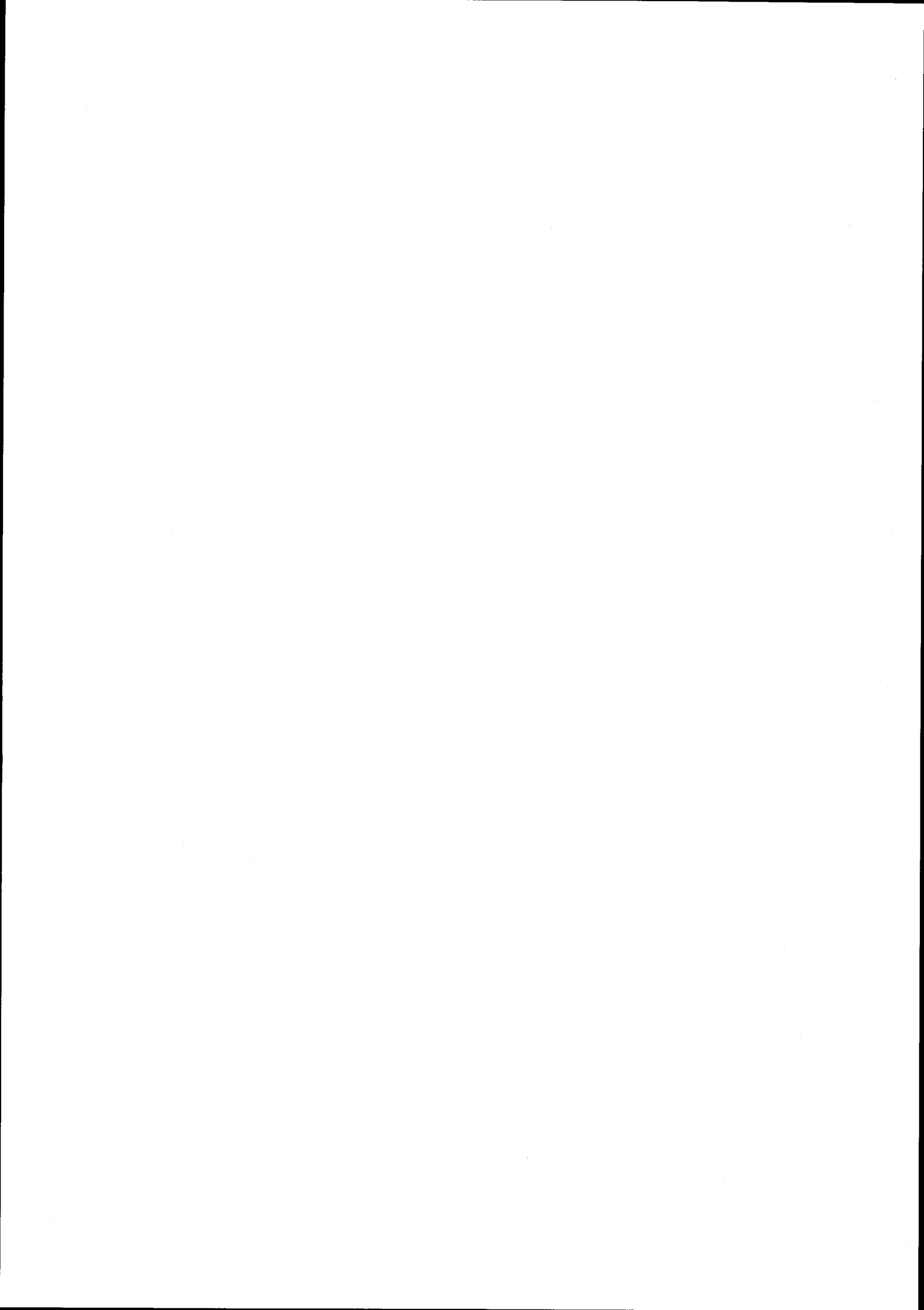
ANEXO B2.1

Programa para obter as equações tipo potência do perímetro e da área da secção transversal dos sulcos

```

100 PRINT PAGE: REM Programa SECCAO Ricardo P. Serralheiro
110 REM Obtencao das equacoes do PM e de A da secção transversal
120 SELECT #1,"INPUT", CONSEC, RECSIZE=135, IOERR GOTO 210
130 DIM A$(15,3), K$(3), V(10,4)
140 K$(2)="PERIMETRO": K$(3)="AREA": SELECT PRINTER: Q=2
150 ZSULCO ESTACAO I P S T Q
160 Z "0.000"
170 Z "0.000"
180 OPEN MODDISP #1, IO, FILE= "REGISTOS", LIBRARY="DIVENSEB", !
190 VOLUME="SCPO03"
200 PRINT PAGE: PRINT K$(Q): PRINT : PRINT USING 800 : PRINT
210 INPUT "IDENTIFIC. DO(S) SULCO(S) E ESTACAO", S$
220 INPUT "PRIMEIRO E ULTIMO REGISTOS A TRATAR E STEP", P1,P2,ST:I=0
230 FOR P = P1+1 TO P2+1 STEP ST: R0,R2 = P: SXY,SX2,SY2,SX,SY,N=0
240 R0=P: R2=P+6: REM P/ medias por estacao (ST=30) = SDB85 (ST=10)
250 * R0,R2=P: REM P/ um a um (step 30 na rega, 10 nos infiltroms.)
260 * R0=P: R2=P+7 : REM P/ RTN85 (step 10)
270 FOR R = R0 TO R2 : READ #1, RECORD = R, A$(I) : FOR J = 1 TO 9
280 UNPACK PIC (###00##)A$(J,I) TO X: UNPACK PIC (###00##)A$(J,Q) TO Y
290 IF X+Y=0 THEN 310 ELSE Y=LOG(Y): X=LOG(X)
300 SXY=SXY+X+Y: SX2=SX2+X+2: SY2=SY2+Y+2: SX=SX+X: SY=SY+Y: N=N+1
310 NEXT J: NEXT R
320 A = (SXY-SX*SY/N)/(SX2-SX+2/N): MX=SX/N: MY=SY/N
330 K = EXP(MY-A*MX): I=I+1: V=0
340 CR= (SXY-SX*SY/N)/SQRT((SX2-SX+2/N)*(SY2-SY+2/N))
350 FOR Y = 1 TO 8 : V = V + K*Y+A : NEXT Y
360 V(I,1)=K: V(I,2)=A: V(I,3)=CR+2 : V(I,4)=V/Y
370 NEXT P
380 PRINT S$; " ";
390 FOR L=1 TO 3:PRINT TAB(16);
400 ON L GOTO 410, 420, 430
410 PRINT "conf. "; GOTO 440
420 PRINT "expo. "; GOTO 440
430 PRINT "r+2 "; GOTO 440
440 FOR J=1 TO I: PRINT TAB(10+10*J);: PRINT USING 1000,V(J,L);
450 NEXT J: PRINT: NEXT L: PRINT: PRINT TAB(16);"Evolucao: ";
460 FOR J=1 TO I-1: ON J GOTO 470,480, 490, 500
470 PRINT " I/P=";: GOTO 510
480 PRINT " P/S=";: GOTO 510
490 PRINT " S/T=";: GOTO 510
500 PRINT " P/S=";: GOTO 530
510 PRINT " S/T=";: GOTO 530
520 PRINT " T/Q=";: GOTO 530
530 INPUT "OUTRO SULCO/ESTACAO ?",I$
540 IF I$="n" OR I$="N" OR I$="0" THEN 560
550 GOTO 210
560 INPUT "TRATA-SE AGORA DA AREA ? ",L$
570 IF L$="n" OR L$="N" OR L$="0" THEN 600
580 Q=3: GOTO 200
590 CLOSE #1
600 END

```



ANEXO B3.1

Programa EQSINF.ELW para obter as equações da infiltração pelo método estendido de balanço volumétrico de Elliott e Walker

```

100 REM          ***** EQS INF.ELW          *****
110 REM  ***  MTODO DE ELLIOTT & WALKER (1982), EXTENDIDO  ***
120 REM  DATA dos programas REBAS#85 ou REBAS#84
      Obtenção da equação potencial do avanço por optimização exacta
      Original: KOSTIAKOV MODIFICADA; extensão: KOSTIAKOV e PHILIP
130 DIM HA(20),HR(20),TA(15),TR(15),L(15),ID$(86),RE(86,18)
140 RESTORE: CLS
150 PRINT "NOMEROS DO PRIMEIRO E ÚLTIMO SULCOS A TRATAR SR1 , SR2 ? ":PRINT
      "NOTE  PR, 1 a 23; SR, 24 a 44; TR, 45 a 65; QR, 66 a 86": INPUT SR1,SR2:
      ZR=0
160 REM  ***  leitura dos dados  ***
170 FOR Z=1 TO SR2: FOR I=1 TO 20: HA(I)=0:HR(I)=0: NEXT I
180 READ ID$,DIA$,SO,SULCO,BO,YO,Q1,Y1,Q2,Y2,V1,V2,V3 : CLS: LOCATE 2,2:
      PRINT ID$: SPC(10);SR1;" a ";SR2;SPC(10);Z
190 READ PO,RO,LO,MO,P1,R1,L1,M1,P2,R2,L2,M2
200 I=0:J=0:S1=0:S2=0 :N$=RIGHT$(ID$,3): M=VAL(N$)
210 I=I+1:READ HA(I):IF HA(I)<>0 THEN 210
220 J=J+1:READ HR(J):IF HR(J)<>0 THEN 220
230 IF Z<SR1 OR YO=0 OR Y1=0 OR HA(9)=0 THEN 750
240 REM  ****  cálculo dos tempos de avanço e de recessão  ****
250 FOR K=2 TO (I-1)
260 TA(K-1)=(INT(HA(K))-INT(HA(1)))*60+100*(HA(K)-INT(HA(K))-HA(1)+INT(HA(1)))
270 TR(K-1)=(INT(HR(K))-INT(HA(1)))*60+100*(HR(K)-INT(HR(K))-HA(1)+INT(HA(1)))
280 L(K-1)=20*(K-1):REM L(K)=comprimentos das estações, TA(K)=Tempos de avanço
      (minutos); TR(K)=Tempos de recessão (minutos)
290 NEXT K :K=K-2: ZR=ZR+1
300 REM  ****  "optimiz. exacta" dos par metros nas eqs do avanço  ****
310 LOCATE 5,10:PRINT "I"
320 FOR I=1 TO K:LOCATE 7,10:PRINT " " :LOCATE 7,10:PRINT I
330 FOR J=1 TO K:IF J=I THEN 400
340 YO=LOG(L(I)):X1=LOG(TA(I)):YY=LOG(L(J)):X2=LOG(TA(J))
350 EXPO=(YO-YY)/(X1-X2):COEF=L(I)/(TA(I)+EXPO):SD=0
360 FOR L=1 TO K:Y=COEF*TA(L)+EXPO
370 DESVID=ABS(Y-L(L))+2:SD=SD+DESVID:NEXT L
380 IF S1<SD AND S1>0 THEN 400
390 CN=COEF:EM=EXPO:S1=SD
400 NEXT J:NEXT I
410 REM  coeficientes para tempos em min e comprimentos em metros
420 REM
430 REM  ****  Cálculo dos par metros das equações de infiltração  ****
440 AO=L0*(YO/10)+MO:A1=L1*(Y1/10)+M1:A2=L2*(Y2/10)+M2 : REM areas ainda cm2
450 IF AO=0 OR A1=0 THEN 580
460 IF TA(10)=0 THEN TA(10)=TA(9): IF TA(10)=0 THEN 580

```

ANEXO B3.1

- 2 -

```

560 AL=(A0+A1+A2)/30000:AM=(A0+A1)/20000 :
      REM áreas médias AL e AM em m2
570 FOR ELW = 1 TO 3: IO=0:IOM=0:ON ELW GOTO 580,590,680
580 IO=.06*(Q0-Q1)/100 : IOM= 60*(Q0-Q1)/(100*W)
590 M=(.06*Q0*TA(10))/200-AL-IO*TA(10)/(EM+1)
600 U=(.06*Q0*TA(5))/100-AM-IO*TA(5)/(EM+1)
610 A=LOG(M/U)/LOG(TA(10)/TA(5)): F=(A+EM-EM*A+1)/(1+EM)
620 B=1000*(M*(A+1))/(F*TA(10)^A):IO=1000*IO
630 REM Nas linhas seguintes: introdução de W (espaçamento entre sulcos) para
      obter Z(mm) em vez de I(1/m)      Z(mm)= BM*t^tAM + IOM*t
640 MM=(60*Q0*TA(10))/200-1000*AL-((IOM*TA(10))^W)/(EM+1)
650 UM=(60*Q0*TA(5))/100-1000*AM-((IOM*TA(5))^W)/(EM+1):
      AM1= LOG(MM/UM)/LOG(TA(10)/TA(5))
660 BM=(MM*(AM1+1))/(F*W*TA(10)^AM1): GOTO 750
670 A=0: B=0:IO=0: IOM=0:BM=0: GOTO 750
680 A=.5: F=(A+EM+1.5)/(EM+1): R=A*LOG(TA(10)/TA(5))
690 W1=.06*Q0*TA(5)/100-AM
700 W2=.06*Q0*TA(10)/200-AL
710 IO=(W2-W1*EXP(R))* (EM+1)/(TA(10)-TA(5)*EXP(R))
720 M=W2-IO*TA(10)/(EM+1): IO=1000*IO: IOM=IO/W
730 B=1500*M/(F*SQR(TA(10))): BM=B/W
740 REM
750 REM      ***** matriz de resultados *****
760 REM
770 ON ELW GOTO 780,800,810
780 ID$(ZR)=ID$:RE(ZR,1)=S0:RE(ZR,2)=SULCO:RE(ZR,3)=Q0:RE(ZR,4)=CM: RE(ZR,5)=EM
790 RE(ZR,6)=B:RE(ZR,7)=A:RE(ZR,8)=IO:RE(ZR,9)=BM:RE(ZR,10)=IOM
800 RE(ZR,11)=B:RE(ZR,12)=A:RE(ZR,13)=BM
810 RE(ZR,14)=B:RE(ZR,15)=A:RE(ZR,16)=IO: RE(ZR,17)=BM:RE(ZR,18)=IOM
820 REM
830 NEXT ELW
840 CLS:NEXT Z
850 LOCATE 22,1:PRINT SPC(70):LOCATE 22,10:INPUT "IMPRESSORA(1), PLOTTER (2), TE
      RMINAR(3)":W$:IF VAL(W$)<1 OR VAL(W$)>3 THEN 850
860 IF VAL(W$)=1 THEN 890
870 IF VAL(W$)=2 THEN 1060
880 IF VAL(W$)=3 THEN 1040
890 CLS:PRINT "LIGUE A IMPRESSORA":STOP :CLS
900 LPRINT CHR$(27);CHR$(51);CHR$(15);:LPRINT CHR$(13);
910 REM
920 LPRINT CHR$(14);"EQUACOES EMPIRICAS DA INFILTRACAO ": LPRINT: LPRINT
930 LPRINT CHR$(14);"BALANCO VOLUNTARIO DO AVANCO"
940 LPRINT CHR$(14);"EXTENSAO DO METODO DE ELLIOTT & WALKER"
950 LPRINT:LPRINT: FOR Z=1 TO ZR
960 LPRINT CHR$(14);ID$(Z)
970 LPRINT "S0=";RE(Z,1);" s. ";RE(Z,2);" Q0=";RE(Z,3);" 1/s":
      LPRINT "Par metros nas eqs. avanço: C=";RE(Z,4);" E="; RE(Z,5)
980 LPRINT TAB(17);"B";TAB(31);"A";TAB(45);"I";TAB(59);"BM";TAB(73);"IOM"
990 LPRINT "KOST.MOD.": FOR C=1 TO 5: LPRINT TAB(14+C);:
      LPRINT USING " ###.###"; RE(Z,5+C); :NEXT C: LPRINT

```

- 194 -

ANEXO B3.1

- 3 -

```

1000 LPRINT "KOSTIAKOV";: C1=0: FOR C=1 TO 4:IF C=3 THEN 1010 ELSE C1=C1+1:
      LPRINT TAB(14*C);: LPRINT USING " ###.###";RE(Z,10+C1);
1010 NEXT C: LPRINT:LPRINT "PHILIP";:FOR C= 1 TO 5: LPRINT TAB(14*C);:
      LPRINT USING " ###.###";RE(Z,13+C);:NEXT C
1020 LPRINT: LPRINT: NEXT Z: GOTO 850
1030 REM
1040 END
1050 REM
1060 REM *****GRAFICOS****VECTORES*****
1070 FOR Z=1 TO ZR
1080 DIM KML(300),KOL(300),PHL(300),KMM(300),KOM(300),PHM(300)
1090 FOR TP=0 TO 300
1100 KML(TP)=RE(Z,6)*TP+RE(Z,7)+RE(Z,8)*TP
1110 KOL(TP)=RE(Z,11)*TP+RE(Z,12)
1120 PHL(TP)=RE(Z,14)*TP+RE(Z,15)+RE(Z,16)*TP
1130 KMM(TP)=RE(Z,9)*TP+RE(Z,7)+RE(Z,10)*TP
1140 KOM(TP)=RE(Z,13)*TP+RE(Z,12)
1150 PHM(TP)=RE(Z,17)*TP+RE(Z,15)+RE(Z,18)*TP
1160 NEXT TP
1170 REM ***** EIXOS DOS GRAFICOS *****
1180 LPRINT "J1":FOR K=1 TO 2:Y=2480:IF K=1 THEN X=100 ELSE X=2100
1190 LPRINT "M";X;";";Y:LPRINT "X0,-80,31"
1200 LPRINT "M";X;";";Y:LPRINT "X1,50,30"
1210 LPRINT "Q3":LPRINT "S1"
1220 IF K=1 THEN X=65 ELSE X=2065
1230 FOR MN=0 TO 300 STEP 20
1240 IF MN=0 THEN Y=2500:LPRINT "M";X;";";Y:GOTO 1270
1250 IF MN>0 AND MN<100 THEN LPRINT "M";X;";";Y+5:GOTO 1270
1260 LPRINT "M";X;";";Y+10
1270 LPRINT "P";MN:Y=Y-160
1280 NEXT MN
1290 IF K=1 THEN X=95 ELSE X=2095
1300 Y=2520:FOR Q=0 TO 300 STEP 50
1310 IF Q=50 THEN Y=2530 :GOTO 1330
1320 IF Q>=100 THEN Y=2540
1330 LPRINT "M";X;";";Y:LPRINT "P";Q:X=X+250
1340 NEXT Q
1350 REM *****ESCREVER CABECALHOS*****
1360 LPRINT "S2":LPRINT "Q3":IF K=1 THEN LPRINT "M20,1500" ELSE
      LPRINT "M2020,1500"
1370 LPRINT "PTEMPO DE INFILTRACAO,min"
1380 LPRINT "Q0":IF K=1 THEN LPRINT "M500,2550":
      LPRINT "PVOLUME INFILTRADO, 1/m":GOTO 1400
1390 LPRINT "M2630,2550":LPRINT "PALTURA INFILTRADA, mm"
1400 REM****GRAFICOS****
1410 FOR I=1 TO 3:IF I=1 THEN LPRINT "L0" ELSE IF I=2 THEN LPRINT "L5" ELSE IF I
=3 THEN LPRINT "L3"
1420 IF K=1 THEN XX=100 :LPRINT "M100,2480" ELSE XX=2100:LPRINT "M2100,2480"
1430 Y=2480:FOR TP=0 TO 300
1440 IF I=1 AND K=1 THEN X=XX+KML(TP)*5:GOTO 1500
1450 IF I=2 AND K=1 THEN X=XX+KOL(TP)*5:GOTO 1500

```

- 195 -

ANEXO B3.1

- 4 -

```

1460 IF I=3 AND K=1 THEN X=XI+PHL(TP)*5:GOTO 1500
1470 IF I=1 AND K=2 THEN X=XI+KMM(TP)*5:GOTO 1500
1480 IF I=2 AND K=2 THEN X=XI+KOM(TP)*5:GOTO 1500
1490 IF I=3 AND K=2 THEN X=XI+PHM(TP)*5:GOTO 1500
1500 LPRINT "D";X;",";Y:Y=Y-8
1510 NEXT TP:NEXT I
1520 REM *****TITULO/LEGENDA*****
1530 LPRINT "S3":LPRINT "Q3":IF K=1 THEN LPRINT "M1600,2200" ELSE
LPRINT "M3600,2200"
1540 LPRINT "P";ID$(Z);" S0="";:LPRINT USING "#.###";RE(Z,1);:LPRINT " s.";
RE(Z,2);:LPRINT " Q0="";USING "#.###"; RE(Z,3);:LPRINT " 1/s"
1550 LPRINT "S2":IF K=1 THEN LPRINT "M1400,2200" ELSE LPRINT "M3400,2200"
1560 LPRINT "PK.MOD.-----"
1570 IF K=1 THEN LPRINT "M1340,2200" ELSE LPRINT "M3340,2200"
1580 LPRINT "PKOSTK. _ . _ ."
1590 IF K=1 THEN LPRINT "M1280,2200" ELSE LPRINT "M3280,2200"
1600 LPRINT "PPHILIP _ . _ ."
1610 NEXT K
1620 LPRINT "H":ERASE KML,KOL,PHL,KMM,KDM,PHM
1630 LOCATE 22,1:PRINT SPC(70):LOCATE 22,15:
PRINT "PONHA PAPEL NO PLOTTER E PRIMA UMA TECLA":SOUND 750,5
1640 W$=INKEY$:IF W$="" THEN 1640
1650 NEXT Z:GOTO 850
1660 REM
1670 REM
1680 LPRINT "P";ID$(Z);" S0="";USING (#0###),RE(Z,1);" s.";RE(Z,2);" Q0="";
USING "#.###";RE(Z,3);:LPRINT " 1/s"
1690 END

```

ANEXO B3.2

Programa para obter as equações da infiltração a partir dos dados de infiltrômetros

```

100 REM      *****  INFILTR2  R.P.SERRALHEIRO  *****
110 REM
120 REM      TESTES DE INFILTRÔMETRO DE ANEL OU DE SULCO
130 REM      OPTIMIZACAO EXACTA DOS PARAMETROS DAS EQUACOES
140 REM
150 DIM Q(30,15),A$(30),Q$(30,3),T(60),Z(60),W(60): PRINT PAGE
160 INPUT "TITULO GERAL ",TIT$
170 INPUT "NUMERO DE TESTES ",Q: FOR U=1 TO Q: PRINT U
180 INPUT "NOMES DOS TESTES A TRATAR ",A$(U): NEXT U: U=0
190 INPUT "CONSTANTE DO TAMBOR ",K: INPUT "COMPRIMENTO DO SULCO (M:
200 ) OU AREA DO ANEL (M2)", E
210 INPUT "QUER LISTAR VALORES DE CADA TESTE ? S/N", N$
220 U=U+1: IF U>Q THEN 1420
230 SELECT CRT
240 REM
250 REM
260 READ ID$,S$,REGA$,SOLO$,DIA$,H,LO
270 Q$(U,1)=ID$:Q$(U,2)=S$:Q$(U,3)=REGA$:Q$(U,4)=SOLO$:Q$(U,5)=DIA$
280 REM * VERIFICAR NOS DADOS 3 ALFANUM. DE IDENTIF. *
290 REM
300 H0=(H-INT(H))*100+60*INT(H)
310 A9=L0: C=0: I=0
320 REM
330 REM      *****  LEITURA DOS PARES  *****
340 I=I+1
350 READ H,L1 : IF H=0 OR L1=0 THEN 470
360 H=(H-INT(H))*100+60*INT(H)
370 T(I)=H-H0
380 IF L1<A9 THEN 420
390 A9=L1
400 Z(I)=(L1-L0+C)/(K+E)
410 GOTO 460
420 C=C+A9-L0
430 L0=L1
440 A9=L0
450 GOTO 350
460 N=I: GOTO 340
470 FOR D=1 TO Q: IF A$(D)=Q$(U,1)&Q00$(U,2) THEN 480:NEXT D:GOTO 260
480 PRINT U,A$(D): FOR I=1 TO N: IF I=1 THEN 520
490 IF I=N THEN 540
500 W(I) = (Z(I+1)-Z(I-1))/(T(I+1)-T(I-1))
510 GOTO 550
520 W(I) = Z(2)/T(2)
530 GOTO 550
540 W(N) = (Z(N)-Z(N-1))/(T(N)-T(N-1))
550 NEXT I : IF N$="N" THEN 660 ELSE SELECT PRINTER: PRINT
560 HEX(0!); TIT$: PRINT ID$:S$: PRINT
570 PRINT "I";TAB(10+1);"min"; TAB(20+1);"Z(1/m)";TAB(30+1);
580 "i(1/m.h)"
590 FOR I=1 TO N

```

ANEXO B3.2

- 2 -

```

600 T(I)=INT(T(I)+.5 )
610 Z(I)=INT(Z(I)*100+.5)/100
620                                W(I) = INT(W(I)*6000+.5)/100
630 PRINT I;TAB(10+1);T(I);TAB(20+1);Z(I);TAB(30+1);W(I)
640 NEXT I
650 REM
660 REM      ****      KOSTIAKOV      ****
670 REM
680 DIM A(60),K(60),V(60),S(60) : M1=0
690 FOR I = 1 TO N : FOR L= 1 TO N: IF L=I THEN 840
700   A(I)=(LOG(Z(L))-LOG(Z(I)))/(LOG(T(L))-LOG(T(I)))
710   K(I)=Z(I)/T(I)+A(I)
720   S=0
730   FOR J=1 TO N
740     V(J)=K(I)*T(J)+A(I)
750     S=S+ABS(Z(J)-V(J))^2
760   NEXT J
770   S(I)=S
780   IF I=1 THEN 800
790   GOTO 810
800   M1=S(I)
810   IF S(I)<M1 THEN 830
820   GOTO 840
830   M1=S(I):A=A(I):K=K(I)
840 NEXT L: NEXT I: SQD=INT(M1)
850 PRINT
860 PRINT "KOSTIAKOV optm. "
870 D4=INT(A*1000+.5)/1000
880 K=INT(K*1000+.5)/1000
890 PRINT ",a = ";D4; ",k = ";K
900 Q(U,1)=K: Q(U,5)=SQD
910 Q(U,2)=D4
920 REM
930 REM
940 REM      ****      KOSTIAKOV MODIFICADA      ****
950 REM
960 W9=INT(K*D4*360+(D4-1)*1000+.5)/1000: M1=0
970 FOR I = 1 TO N: FOR L=1 TO N: IF I=L THEN 1140
980 IF Z(L)-W9*T(L)<=0 THEN 1140
990 IF Z(I) <= W9*T(I) THEN 1140
1000 A(I)=(LOG(Z(L)-W9*T(L))-LOG(Z(I)-W9*T(I)))/(LOG(T(L))-LOG(T(I)))
1010 K(I)=(Z(I)-W9*T(I))/T(I)+A(I)
1020 S=0
1030   FOR J=1 TO N
1040     V(J)=K(I)*T(J)+A(I)+W9*T(J)
1050     S=S+ABS(Z(J)-V(J))^2
1060   NEXT J
1070   S(I)=S
1080   IF I=1 THEN 1100
1090   GOTO 1110

```

- 198 -

ANEXO B3.2

- 3 -

```

1100 M1=S(1)
1110 IF S(I)<M1 THEN 1130
1120 GOTO 1140
1130 M1=S(I): A=A(I): K=K(I)
1140 NEXT L: NEXT I
1150 PRINT :SQD=INT(M1)
1160 PRINT "KOST.MODIF optimizada"
1170 D5=INT(A*1000+.5)/1000
1180 K5=INT(K*1000+.5)/1000
1190 PRINT , "a = ";D5; , "k = ";K5; , "if = ";W9
1200 Q(U,8)=W9
1210 Q(U,6)=K5
1220 Q(U,7)=D5 : Q(U,10)=SQD
1230 REM
1240 REM
1250 REM      **** PHILIP      ****
1260 REM
1270 FOR I= 1 TO N: FOR L = 1 TO N: IF L=I THEN 1370
1280 A(I)=(Z(L)*T(I)-Z(I)*T(L))/(T(I)*T(L)+.5-T(I)+.5*T(L))
1290 K(I)=(Z(I)-A(I)*T(I)+.5)/T(I): S=0
1300 FOR J=1 TO N
1310 V(J)=A(I)*T(J)+.5+K(I)*T(J): S=S+ABS(Z(J)-V(J))+2
1320 NEXT J
1330 S(I)=S: IF I>1 THEN 1350
1340 M1=S(1)
1350 IF S(I)>=M1 THEN 1370
1360 M1=S(I): A=A(I): KS=K(I)
1370 NEXT L: NEXT I: SQD= INT(M1):KS=INT(KS*1000+.5)/1000
1380 PRINT: PRINT "PHILIP " : PRINT , "S= ";A; " A=.5 K= ";KS
1390 Q(U,11)=INT(A*1000+.5)/1000: Q(U,12)=.5: Q(U,13)=KS: Q(U,15)=SQD
1400 GOTO 220
1410 REM
1420 REM      **** RESULTADOS GLOBAIS      ****
1430 REM
1440 A$(1)="KOSTIAKOV":A$(2)="KOST.MOD.":A$(3)="PHILIP":SELECT PRINTER
1450 PRINT PAGE: PRINT HEX(0!); TIT$: PRINT TAB(32);"K";TAB(42);"A"; !
1460 TAB(52);"IO";TAB(62);"R+2";TAB(72);"SQD":PRINT
1470 FOR U=1 TO Q: PRINT Q$(U,1);Q$(U,2);Q$(U,3):PRINT
1480 FOR A=1 TO 3: PRINT TAB(20); A$(A);
1490 FOR V=1 TO 5: PRINT TAB(20+V*10);Q(U,V+5*(A-1));
1500 NEXT V: PRINT: NEXT A: PRINT: PRINT: NEXT U
1510 END

```

- 199 -

ANEXO B4.1

Programa ANREGA para análise das qualidades das regas

```

100 REM      ***      ANREGA2      ***
110 REM      R. P. Serralheiro
130 REM "Este programa é para MERGE em REGAS085 ou estrutura semelhante"
140 INPUT "Nome e número do teste de rega PR, SR, etc. ", A$: INPUT
      "EQUAO DE (LEWIS =1; KOST. =2 ; PHILIP =3, A escolher depois =4, Todas =5)
      ", EQ
150 DIM T1(20),T2(20),T3(20),T4(20),T5(20),Z(20),Z1(20),I(20),X(20)
160 DIM HA(20),HR(20),TA(15),TR(15),L(15),RE(9),TI1(20),TI2(20)
180 CLS:INPUT "DOTAD ÓTIL, aa ",DU
190 INPUT "QUER FAZER VARIAR D ?", V$
200 REM      ***      MTODO DE ELLIOTT & WALKER (1982), EXTENDIDO      ***
230 REM      ****      leitura dos dados      ****
240 RESTORE : FOR I=1 TO 20: HA(I)=0:HR(I)=0: NEXT I
250 READ ID$,DIA$,SO,SULCO,Q0,Y0,Q1,Y1,Q2,Y2,V1,V2,V3 : CLS: LOCATE 2,2:
      PRINT "EQS. INF. PARA ";ID$
260 READ PO,RO,LO,MO,P1,R1,L1,M1,P2,R2,L2,M2
270 I=0:J=0:S1=0:S2=0 :N$=RIGHT$(ID$,3): W=VAL(W$):ID$=MID$(ID$,1,LEN(ID$)-4)
280 I=I+1:READ HA(I):IF HA(I)<>0 THEN 280
290 J=J+1:READ HR(J):IF HR(J)<>0 THEN 290
300 IF A$=ID$ THEN 320 ELSE 240
320 REM      ****      cálculo dos tempos de avanço e de recessão      ****
340 FOR K=2 TO (I-1)
350 TA(K-1)=(INT(HA(K))-INT(HA(1)))*60+100*(HA(K)-INT(HA(K))-HA(1)+INT(HA(1)))
360 TR(K-1)=(INT(HR(K))-INT(HA(1)))*60+100*(HR(K)-INT(HR(K))-HA(1)+INT(HA(1)))
370 L(K-1)=20*(K-1):REM L(K)=comprimentos das estações, TA(K)=Tempos de avanço
      (minutos); TR(K)=Tempos de recessão (minutos)
380 NEXT K :K=K-2
400 REM      ****      "optimiz. exacta" dos par metros nas eqs do avanço      ****
410 REM
420 LOCATE 5,10:PRINT "I"
430 FOR I=1 TO K:LOCATE 7,10:PRINT " ":LOCATE 7,10:PRINT I
440 FOR J=1 TO K:IF J=I THEN 510
450 Y0=LOG(L(I)):X1=LOG(TA(I)):YY=LOG(L(J)):X2=LOG(TA(J))
460 EXPO=(Y0-YY)/(X1-X2):COEF=L(I)/(TA(I))↑EXPO:SD=0
470 FOR L=1 TO K:Y=COEF*TA(L)↑EXPO :      ' *** L=coef*ttexpo ***
480 DESVIO=ABS(Y-L(L))↑2:SD=SD+DESVIO:NEXT L
490 IF S1<SD AND S1>0 THEN 510
500 CN=COEF:EN=EXPO:S1=SD
510 NEXT J:NEXT I
520 REM      coeficientes para tempos em min e comprimentos em metros
540 REM      ****      Cálculo dos par metros das equações da infiltração      ****
560 A0=L0*(Y0/10)↑M0:A1=L1*(Y1/10)↑M1:A2=L2*(Y2/10)↑M2 : REM áreas ainda cm2
570 IF A0=0 OR A1=0 THEN 800

```



ANEXO B4.1

- 2 -

```

580 IF TA(10)=0 THEN TA(10)=TA(9): IF TA(10)>0 THEN 590 ELSE 800
590 AL=(A0+A1+A2)/30000:AM=(A0+A1)/20000 :
    REM áreas médias AL e AM em m2
600 FOR ELM = 1 TO 3: I0=0:ON ELM GOTO 610,620,660
610 I0=.06*(Q0-Q1)/100
620 M=(.06*Q0*TA(10))/200-AL-I0*TA(10)/(EM+1)
630 U=(.06*Q0*TA(5))/100-AM-I0*TA(5)/(EM+1)
640 A=LOG(M/U)/LOG(TA(10)/TA(5)): F=(A+EM-EM*A+1)/(1+EM)
650 B=1000*(M*(A+1))/(F*TA(10)+A):I0=1000*I0: GOTO 730
660 A=.5: F=(A+EM+1.5)/(EM+1): R=A*LOG(TA(10)/TA(5))
670 W1=.06*Q0*TA(5)/100-AM : W2=.06*Q0*TA(10)/200-AL
690 I0=(W2-W1*EXP(R))*(EM+1)/(TA(10)-TA(5)*EXP(R))
700 M=W2-I0*TA(10)/(EM+1): I0=1000*I0
710 B=1500*M/(F*SQR(TA(10))): GOTO 730
730 REM          ***** matriz de resultados *****
750 ON ELM GOTO 760,770,780
760 RE(1)=B:RE(2)=A:RE(3)=I0: PRINT "LEWIS   ";B;"   ";A;"   ";I0: GOTO 790
770 RE(4)=B:RE(5)=A:RE(6)=0 : PRINT "KOST.   ";B;"   ";A;"   ";I0: GOTO 790
780 RE(7)=B:RE(8)=A:RE(9)=I0: PRINT "PHILIP  ";B;"   ";A;"   ";I0
790 NEXT ELM
800 A=0: B=0:I0=0
810 PRINT "LIGUE A IMPRESSORA":STOP
820 LPRINT CHR$(14);:LPRINT "ANALISE E CONTROLO DA REGA ";A$:LPRINT
830 LPRINT "DETERMIN. DA EQ. INF. POR ELL. E WALKER EXTENDIDO":
    LPRINT "TESTE E CORRECO DA EQ. INF. POR VERIFICAO DO BAL. VOLUM."
850 LPRINT : LPRINT "S0=";S0;" s.":SULCO;" Q0=";Q0;" l/s":
    LPRINT "Par metros nas eqs. avanso: C=";CM;" E="; EM
860 LPRINT TAB(17);"B";TAB(31);"A";TAB(45);"I0"
870 LPRINT "LEWIS ";: FOR C=1 TO 3: LPRINT TAB(14+C);:
    LPRINT USING " ###.###"; RE(C); :NEXT C: LPRINT
880 LPRINT "KOSTIAKOV";: C1=0: FOR C=1 TO 2:LPRINT TAB(14+C);:
    LPRINT USING " ###.###";RE(3+C);
890 NEXT C: LPRINT:LPRINT "PHILIP";:FOR C= 1 TO 3: LPRINT TAB(14+C);:
    LPRINT USING " ###.###";RE(6+C);:NEXT C :LPRINT : LPRINT
910 REM
920 D0=20: Q0=0:Y0=0:Q1=0:Y1=0:Q2=0:Y2=0:V100=0:V200=0:V300=0
930 RESTORE
940 FOR I= 1 TO 20: HA(I)=0: HR(I)=0: NEXT I: I=1
960 REM          *** repete a leitura dos dados ***
    *** pode alterar-se conjugando com linhas 220 a 380 ***
970 READ ID$,DIA$,S0,SULCO,Q0,Y0,Q1,Y1,Q2,Y2,V100,V200,V300:
    W=VAL(RIGHT$(ID$,3)): ID$=MID$(ID$,1,LEN(ID$)-4)
980 READ P0,RO,LO,MO,P1,R1,L1,M1,P2,R2,L2,M2, HO
990 I=I+1:READ HA(I): IF HA(I)=0 THEN 1000 ELSE 990
1000 READ H3: FOR J=2 TO I: READ HR(J): NEXT J:HA(1)=H0:HR(1)=H3
1010 IF A$=ID$ THEN 1020 ELSE 940

```

- 202 -

ANEXO B4.1

- 3 -

```

1020 PM0=INT(P0*(Y0/10)+R0*10+.5)/1000: PM1=INT(P1*(Y1/10)+R1*10+.5)/1000:
      IF PM1=0 OR PM1>PM0 THEN PM1=PM0 ELSE IF PM1<.6*PM0 THEN PM1=(PM0+PM1)/2
1030 PRINT "PM0=";PM0;" PM1=";PM1
1040 H0=(H0-INT(H0))*100+60*INT(H0)
1050 H3=(H3-INT(H3))*100+60*INT(H3)
1060 T4=INT(H3-H0+.5)
1070 V4=INT(Q0*T4*60+.5): D=5*INT(DU*W/5+.5):LPRINT
1080 LPRINT "S0=";S0;" Espacamento ";M;"m Dotacao";DU;"m =" ;D;"1/m"
1090 LPRINT "Q0 =" ;Q0;" 1/s";TAB(21);"ta = ";T4;" min";
1100 LPRINT TAB(46);"Va = ";V4;" litros":LPRINT
1110 ON EQ GOTO 1120,1120,1120,1130,1150
1120 EI=EQ:GOTO 1160
1130 INPUT "Equacao da infiltracao: LEWIS =1, KOST.=2,PHILIP =3, Todas =4 ",EQ
1140 ON EQ GOTO 1120,1120,1120,1150
1150 EI=1: EQ=3
1160 FOR EQI= EI TO EQ :ON EQI GOTO 1170,1180,1190
1170 K=RE(1): A=RE(2): F0=RE(3):GOTO 1200
1180 K=RE(4): A=RE(5): F0=RE(6):GOTO 1200
1190 K=RE(7): A=RE(8): F0=RE(9)
1200 LPRINT: LPRINT: LPRINT: LPRINT
1210 LPRINT "Equacao da Infiltracao: k=";K;" a=";A;" if=";F0;
1220 IF EQI=1 THEN INF$="LEWIS" ELSE IF EQI=2 THEN INF$="KOSTIAKOV" ELSE
      IF EQI=3 THEN INF$="PHILIP"
1230 LPRINT " ";INF$
1240 LPRINT "PM0=";PM0;" PM1=";PM1
1250 LPRINT: LPRINT "Comprimento";TAB(26);"Tempos (minutos)";TAB(66);
1260 LPRINT "Z (1/m)"
1270 LPRINT TAB(6);"(m)";TAB(21);"Avanco";TAB(31);"Recessao";
1280 LPRINT TAB(41);"Infiltr."
1290 LPRINT
1300 I=1
1310 H1=HA(I)
1320 IF H1 <> 1 THEN 1350
1330 T1(I)=0
1340 GOTO 1410
1350 IF H1=0 THEN 1390
1360 H1=(H1-INT(H1))*100+60*INT(H1)
1370 T1(I)=INT(H1-H0+.5)
1380 I=I+1:GOTO 1310
1390 I=1
1400 H2=HR(I):IF H2=0 THEN 1530
1410 IF H2 <> 1 THEN 1440
1420 T2(I)=T4
1430 GOTO 1520
1440 H2=(H2-INT(H2))*100+60*INT(H2)
1450 T2(I) = INT(H2-H0+.5)
1460 IF T1(I)=0 THEN 1480
1470 IF H2<>1 THEN 1500
1480 T5(I)=0
1490 Z(I)=0
1500 T5(I)=INT(T2(I)-T1(I)+.5)

```

- 203 -

ANEXO B4.1

- 4 -

```

1510 Z(I) = INT(K*T5(I)+A+F0*T5(I)+.5)
1520 X(I)=D0*(I-1):I=I+1:GOTO 1400
1530 FOR N=1 TO I-1
1540 LPRINT TAB(6);X(N);TAB(21);T1(N);TAB(31);T2(N);: '*** atencao especial
1550 LPRINT TAB(41);T5(N);TAB(66);Z(N)           ' p/ plotter ***
1560 NEXT N
1570 REM
1580 J=1
1590 IF Z(1)=0 THEN 1610
1600 GOTO 1750
1610 IF Z(2)=0 THEN 1680
1620 IF Z(3)=0 THEN 1650
1630 Z(1)=2*Z(2)-Z(3)
1640 GOTO 1750
1650 Z(1)=Z(2)
1660 Z(3)=Z(2)
1670 GOTO 1750
1680 IF Z(3)=0 THEN 1720
1690 Z(1)=Z(3)
1700 Z(2)=Z(3)
1710 GOTO 1750
1720 LPRINT "Recessao nao controlada "
1730 GOTO 3370
1740 REM *** Calculo e escrita das dolacoes medias entre estacoes ****
1750 Z1(J)=INT((Z(J)+Z(J+1))/2+.5)
1760 J=J+1
1770 IF J=I THEN 1900
1780 IF Z(J) = 0 THEN 1830
1790 IF Z(J+1)=0 THEN 1810
1800 GOTO 1750
1810 Z(J+1)=Z(J)
1820 GOTO 1750
1830 IF Z(J+1)=0 THEN 1860
1840 Z(J)=Z(J+1)
1850 GOTO 1750
1860 IF Z(J+2)=0 THEN 1720
1870 Z(J)=Z(J+2)
1880 Z(J+1)=Z(J+2)
1890 GOTO 1750
1900 ' LPRINT
1910 ' LPRINT "Volumes medios infiltrados entre estacoes: "
1920 ' FOR J=1 TO I-2
1930 ' LPRINT TAB(5+J+4);20*J;
1940 ' NEXT J: LPRINT "metros"
1950 ' LPRINT
1960 ' FOR J=1 TO I-2
1970 ' LPRINT TAB(5+J+1); Z1(J);
1980 ' NEXT J: LPRINT " l/m"
1990 '           *** ANALISE DE BASE ***
2000 IF V$(">N" AND V$(">n" THEN 2020 ELSE 2010
2010 D1=D:D2=D:ST=1: GOTO 2050
2020 LPRINT: IF W=.75 THEN 2030 ELSE 2040

```

- 204 -

```

2030 D1=D-10: D2=D+10: ST=5: GOTO 2050
2040 D1=D-20: D2=D+20: ST=10
2050 FOR D= D1 TO D2 STEP ST
2060 REM D=Dotacao util, l/m
2070 T= (D/K)+(1/A)
2080 D1=K*(T+A)+F0*T
2090 IF D1>1.001*D THEN 2120
2100 IF D1<.999*D THEN 2120
2110 GOTO 2140
2120 T=T*D/D1
2130 GOTO 2080
2140 T2=INT(T+.5)
2150 REM T2= tempo util de infiltracao
2160 P=1
2170 IF Z1(P)<=D THEN 2200
2180 P= P+1 : REM procura de L bem regado
2190 GOTO 2170
2200 IF P<>1 THEN 2230
2210 PRINT "A dotacao";D;" l/m e maior que a verificada na cabeceira,";Z1(P);
      "pelo que as comparacoes nao sao legitimas"
2220 LPRINT "A dotacao";D;" l/m e maior que a verificada na cabeceira,";Z1(P);
      "l/m, que passa a considerar-se a dotacao pretendida":D=Z1(P):GOTO 2000
2230 P = P-1: L = D0*(P-1)
2240 REM L = comprimento de sulco suficientemente regado
2250 V6 = INT(D*L+.5)
2260 REM V6= volume util Vu
2270 V5=0
2280 S=0
2290 FOR M=1 TO P-1
2300 V5 = INT(V5+Z1(M)*D0+.5)
2310 REM V5 = volume infiltrado Vi calculado pela eq. inf.
2320 NEXT M
2330 M0 = V5/(P-1)
2340 REM M0 = dotacao media observada
2350 V7=V4-V5
2360 V8=V5-V6
2370 REM V7 = volume escorrido Vf de acordo c/ a eq. inf.
2380 REM V8 = volume percolado Vp de acordo c/ a eq. inf.
2390 E4=INT(V6/V4*100+.5)/100
2400 E5=INT(V6/V5*100+.5)/100
2410 REM E4 = eficiencia de aplicacao, ea
      E5 = eficiencia da infiltracao, ei cf. eq. inf.
2420 FOR M=1 TO P-1
2430 S = S+ABS(M0-Z1(M)*D0)
2440 NEXT M : ' *** VERIFICACAO DA EQ. INF. ***
2450 C=INT((1-S/((P-1)*M0))*100+.5)/100
2460 VE=V300: IF VE=0 THEN VE=V200
2470 IF VE=0 THEN VE=V7
2480 V10=V4-VE : ERRO=INT((V5-V10)/V10*100+.5): V9=V10-V6:
      E51=INT(V6/V10*100+.5)/100
2490 LPRINT: LPRINT "Verificacao do balanço volumétrico: "
2500 LPRINT TAB(10);"Vols. medidos V1=";V100;"1 V2=";V200;"1 V3=";V300;"1"

```

ANEXO B4_1

- 6 -

```

2510 LPRINT TAB(10);"Vi obs.=";VIO;" Vi calc.=";V5;" ERRO=";V5-VIO;" = ";
      ERRO;"Z"
2520 IF ABS(ERRO)<10 THEN 2580
2530 F=1+(ERRO/100): K=K/F: F0=F0/F
2540 LPRINT "Parametros corrigidos da eq. inf.: k=";K;" if=";F0:GOTO 1250
2550 '
2560 '      ***   QUALIDADES   ***
2570 '
2580 LPRINT "Qualidades p/ D =" ;D;" l/m"
2590 LPRINT
2600 LPRINT "Verificadas: "
2610 LPRINT TAB(10);"L=";L;"m; Vu =" ;V6;"l; Vf=" ;V7;"l; Ve=" ;VE;"l; Vp=" ;
      V9;"l" : REM V9= volume percolado; Vp=Vio-Vu
2620 LPRINT TAB(10);"C. unif. Christ.=";C;
2630 LPRINT " Eficiencias: ei =" ;E5;" ea =" ;E4
2640 LPRINT
2650 LPRINT "Potenciais, sem cut-back:"
2660 LPRINT "L";TAB(8);"Ta";TAB(31);"Volumes, litros"; TAB(58);
2670 LPRINT "C.unif.";TAB(68);"Efic."
2680 LPRINT " m";TAB(8);"min";TAB(17);"Va";TAB(25);"Vu";
2690 LPRINT TAB(33); "Vi";TAB(41);"Vf";TAB(49);"Vp";
2700 LPRINT TAB(58);"Christ.";TAB(68);"ei";TAB(73);"ea";
2710 LPRINT : REM      *****   Calculo das qualidades potenciais   *****
2720 FOR N= 6 TO P
2730 L = (N-1)*D0
2740 REM      L = comprimento util hipotetico
2750 T4(N) = T1(N) + T2
2760 REM      T4(N)= novo tempo de recessao para L
2770 T9 = T2(N)-T4(N)
2780 REM      T9 = acrescimo do tempo de aplicacao
2790 T0 = INT(T4-T9+.5)
2800 V0 = INT(T0*D0*60+.5)
2810 REM T0= novo tempo de aplicacao      V0= novo volume (hipotet.) aplicado
2820 V6 = L*D
2830 E4 = INT(V6/V0*100+.5)/100
2840 V5 = 0
2850 S=0
2860 REM V6 = novo volume util      E4 = novo valor de ea
2870 M = 1
2880 T4(N) = T2(N)-T9
2890 REM      T4(N) = novos tempos de recessao
2900 T3(N)=T4(N)-T1(N)
2910 REM      T3(N) = novos tempos de infiltração
2920 IF M = 1 THEN 2940
2930 IF T1(N) + T3(N) <= 0 THEN 2980
2940 I(N) = INT(K*T3(N)+A+F0*T3(N)+.5)
2950 REM      I(N) = novos volumes infiltrados
2960 M = M+1
2970 GOTO 2880
2980 FOR T = 1 TO N-1
2990 I(T) = (I(T)+I(T+1))/2

```

ANEXO B7.1

- 7 -

```

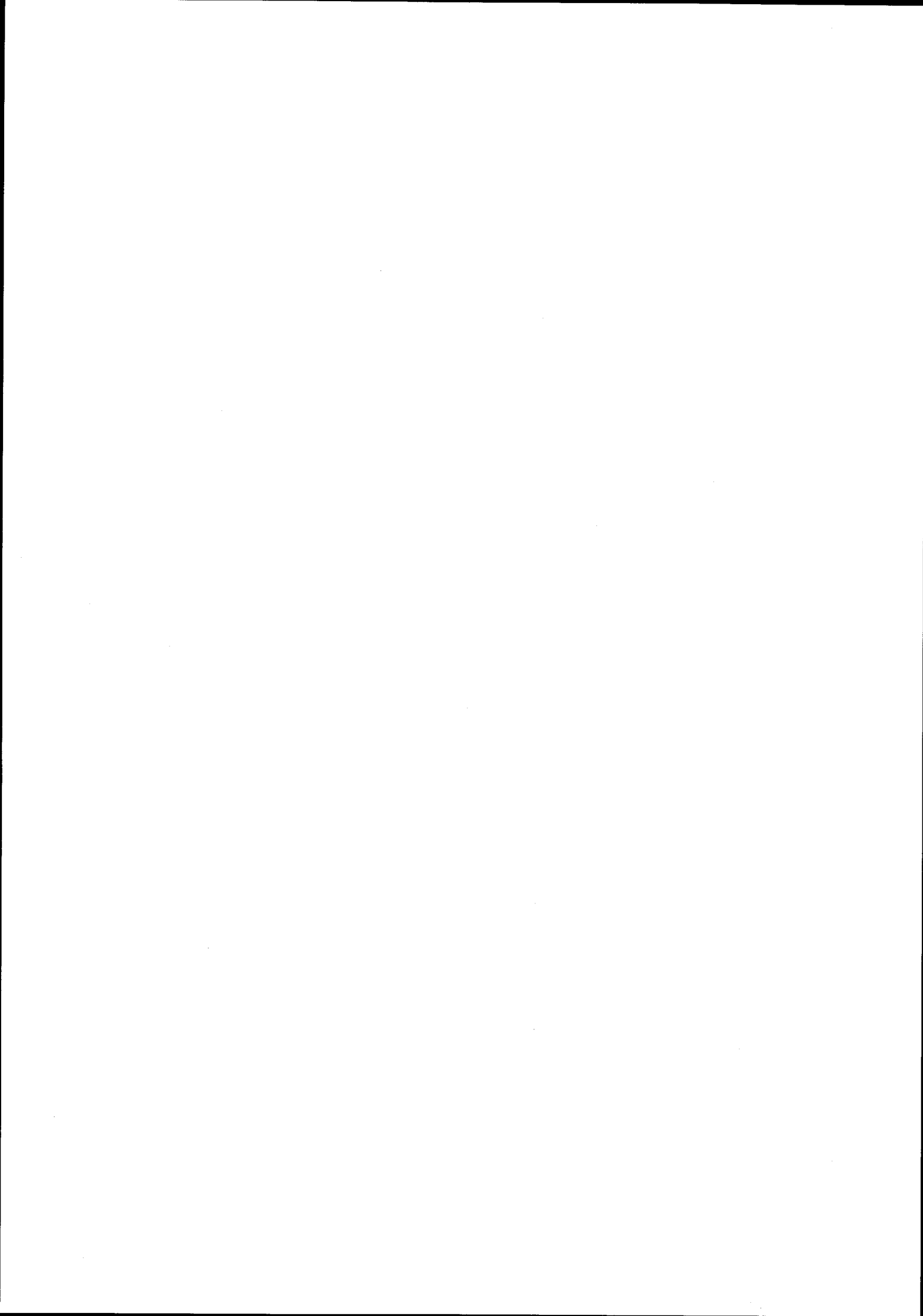
3000 NEXT T
3010 FOR M = 1 TO N-1
3020 V5 = V5+I(M)*D0
3030 NEXT M
3040 V5 = INT (V5+.5)
3050 M0 = V5/(N-1)
3060 REM          V5 = volume infiltrado
3070 V7 = V0-V5
3080 V8 = V5-V6
3090 E5 = INT (V6/V5*100+.5)/100
3100 REM          V7 = Vf      V8 = Vp      E5 = ei
3110 FOR M = 1 TO N-1
3120 S = S+ABS(M0-I(M)*D0)
3130 NEXT M
3140 C = INT ((1-S/((N-1)*M0))*100+.5)/100
3150 LPRINT L; TAB(8);T0;TAB(15);V0;TAB(23);V6;TAB(31);V5;TAB(39);V7;
3160 LPRINT TAB(47);V8;TAB(59);C;TAB(66);E5;TAB(72);E4
3170 NEXT N
3180 REM          **** Opção cut-back ****
3190 LPRINT: LPRINT "Opcao cut-back:"
3200 LPRINT TAB(5);"L";TAB(10);"Q0";TAB(18);"ta";TAB(26);"Qr1";TAB(34);"tb";
      TAB(42);"Qr2";TAB(50);"tc";TAB(60);"Va (1)";TAB(70);"ea"
3210 LPRINT TAB(5);"m";TAB(10);"(1/s)";TAB(18);"min";TAB(26);"(1/s)";
      TAB(34);"min";TAB(42);"(1/s)";TAB(50);"min"
3220 FOR N=6 TO P
3230 L=(N-1)*D0: REM L = comprimento hipotetico
3240 TR=T4(N)-T4(1): TC=T1(N)+T2-TR: TA=TC-T2
3250 TC1=T2/3: TB=TA+TC1: TC2=2*TC1 :SI1=0: SI2=0
3260 FOR M=1 TO N
3270 INF1=TA-T1(M): INF2=TB-T1(M): INF3=TC-T1(M)
3280 IF INF1>=0 THEN 3290 ELSE INF1=0: IF INF2>=0 THEN 3290 ELSE INF2=0:
      IF INF3>=0 THEN 3290 ELSE INF3=0
3290 T11(M)=((K*INF2+A+F0*INF2)-(K*INF1+A+F0*INF1)) /TC1
3300 T12(M)=((K*INF3+A+F0*INF3)-(K*INF2+A+F0*INF2)) /TC2
3310 SI1=SI1+T11(M): SI2=SI2+T12(M)
3320 NEXT M
3330 IM1=SI1/N: IM2=SI2/N: QR1=L*IM1: QR2=L*IM2
3340 VA=60+Q0+TA+QR1+TC1+QR2+TC2: VU=L*D: EA=INT (VU/VA*100+.5)/100
3350 VA=INT (VA+.5): QR1=INT (QR1/60*100+.5)/100: QR2=INT (QR2/60*100+.5)/100
3360 TA=INT (TA+.5): TB=INT (TB+.5): TC=INT (TC+.5)
3370 LPRINT TAB(5);L;TAB(10);Q0;TAB(18);TA;TAB(26);QR1;TAB(34);TB;TAB(42);QR2;
      TAB(50);TC;TAB(60);VA;TAB(70);EA
3380 NEXT N
3390 NEXT D
3400 NEXT EQI: LPRINT CHR$(12);
3410 REM
3420 INPUT "OUTRA VEZ ",R$
3430 IF R$="0" OR R$="N" OR R$="n" THEN 3460
3440 RUN 140
3450 REM
3460 END

```



ANEXOS C - QUADROS DE RESULTADOS

- C2.1 - Evolução da secção transversal dos sulcos nos ensaios de 1985; médias por estação de controlo
- C2.2 - Evolução da secção transversal dos infiltrómetros em 1985; médias gerais
- C2.3 - Evolução do perímetro da secção transversal em alguns sulcos, em 3 estações de controlo
- C2.4 - Ajustamento da equação da parábola à secção transversal dos sulcos em 1984; alguns casos
- C3.1 - Equações do avanço e da infiltração obtidas pelo método de Elliott e Walker extendido; alguns casos da segunda rega e seguintes
- C3.2 - Equações obtidas em infiltrómetro de sulco bloqueado (2ª "rega", 1983): comparação de tipos de equação e de métodos de regressão
- C3.3 - Equações obtidas em infiltrómetro de sulco bloqueado; regressão por optimização; ensaio de 1983, 2ª "rega"
- C3.4 - Equações obtidas em infiltrómetro de sulco bloqueado; regressão por optimização; ensaio de 1985
- C3.5 - Equações obtidas em infiltrómetro de sulco com retorno; ensaio de 1984, 1ª "rega"
- C3.6 - Equações obtidas em infiltrómetro de sulco com retorno; ensaio de 1985, 2ª "rega"



ANEXO C2.1

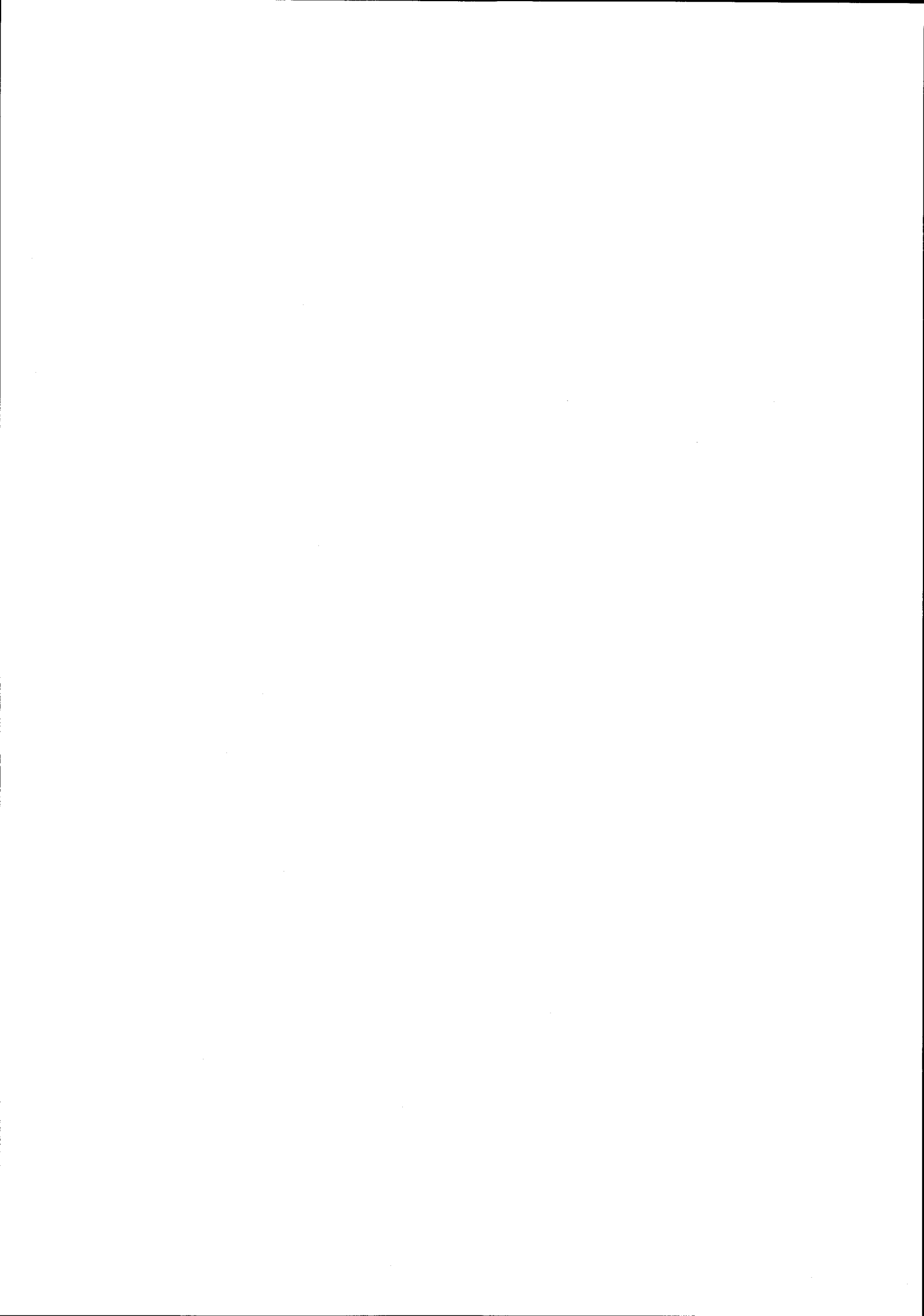
Evolução da secção transversal dos sulcos de rega
Médias por estação de controlo, ensaios de 1985

PERIMETRO

SULCO	ESTACAO		I	P	S	T	Q
MEDIAS	CAB	coef.	12.073	13.814	14.016	14.909	11.581
		expo.	.485	.466	.481	.462	.595
		r ²	.991	.749	.843	.929	.9
		Evolução: I/P= .898 P/S= .964 S/T= .967 T/Q=1.05					
MEDIAS	100	coef.	12.073	13.205	12.486	12.494	12.370
		expo.	.485	.490	.533	.526	.545
		r ²	.991	.862	.865	.895	.897
		Evolução: I/P= .907 P/S= .99 S/T=1.01 T/Q= .981					
MEDIAS	200	coef.	8.410	10.397	11.513	12.502	11.504
		expo.	.631	.539	.519	.487	.536
		r ²	.925	.909	.837	.751	.843
		Evolução: I/P= .931 P/S= .93 S/T= .967 T/Q=1.008					

AREA

SULCO	ESTACAO		I	P	S	T	Q
MEDIAS	CAB	coef.	6.628	7.965	7.998	8.726	6.293
		expo.	1.571	1.512	1.524	1.508	1.646
		r ²	.996	.950	.974	.989	.980
		Evolução: I/P= .922 P/S= .976 S/T= .941 T/Q=1.089					
MEDIAS	100	coef.	6.628	7.526	7.059	7.096	6.971
		expo.	1.571	1.539	1.574	1.560	1.582
		r ²	.996	.975	.972	.980	.978
		Evolução: I/P= .932 P/S=1.002 S/T=1.018 T/Q= .979					
MEDIAS	200	coef.	4.574	5.807	6.491	7.233	6.489
		expo.	1.628	1.551	1.549	1.515	1.565
		r ²	.981	.983	.968	.949	.969
		Evolução: I/P= .902 P/S= .897 S/T= .952 T/Q=1.021					



ANEXO C2.2

Evolução da secção transversal dos infiltrômetros
Médias gerais dos ensaios de 1985

PERIMETRO

SULCO	ESTACAO		I	P	S	T
RTN 85	MED GER	coef.	10.171	11.169	10.499	11.093
		expo.	.570	.540	.580	.558
		r ²	.954	.904	.950	.936

Evolucao: I/P= .953 P/S= .999 S/T= .978

AREA

SULCO	ESTACAO		I	P	S	T
RTN 85	MED GER	coef.	5.645	6.224	5.792	6.094
		expo.	1.598	1.581	1.615	1.610
		r ²	.990	.980	.989	.987

Evolucao: I/P= .934 P/S=1.011 S/T= .958

PERIMETRO

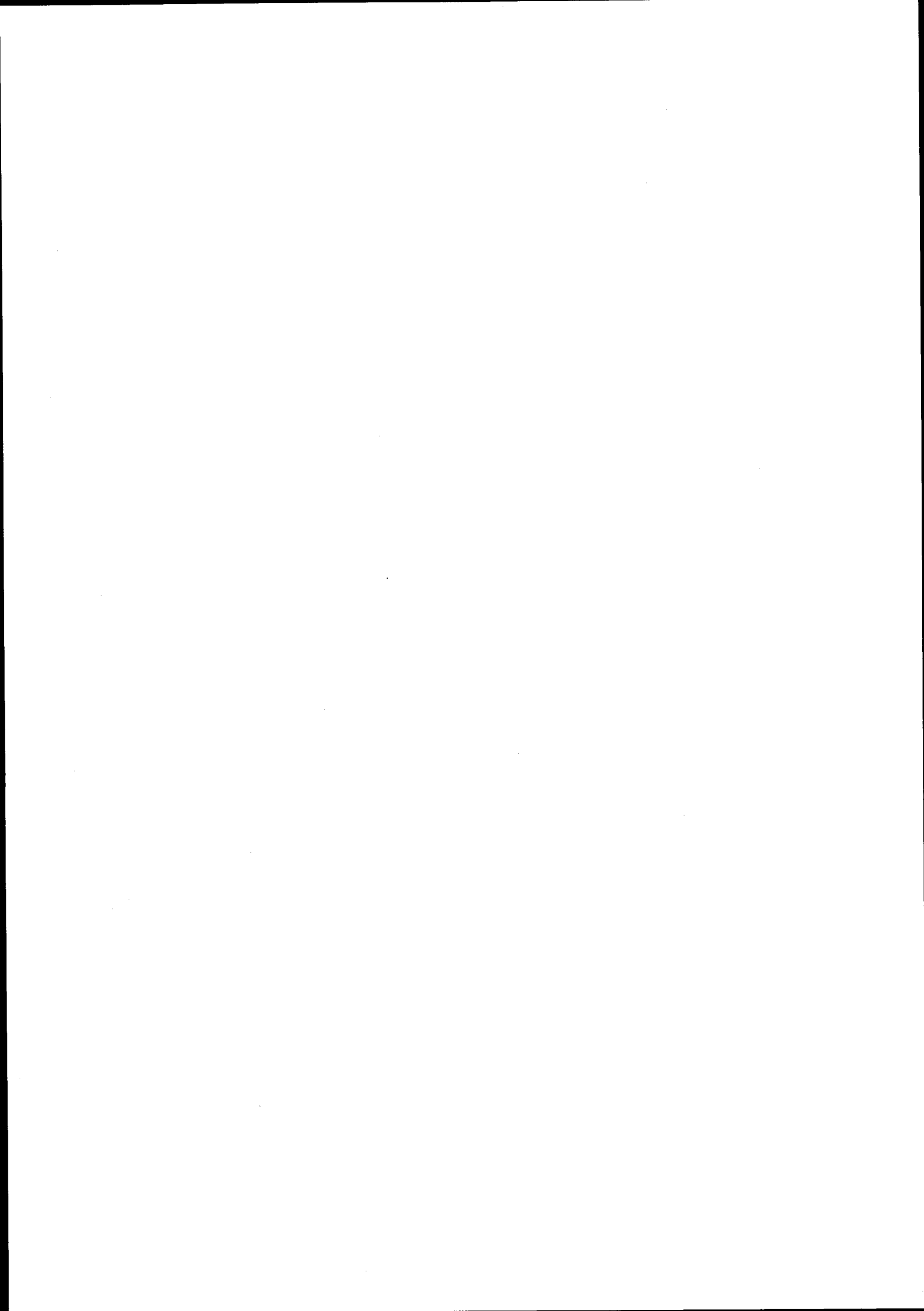
SULCO	ESTACAO		I	P	S	T
SBO 85	MED GER	coef.	9.030	10.470	10.745	11.087
		expo.	.589	.527	.532	.530
		r ²	.957	.942	.950	.931

Evolucao: I/P= .947 P/S= .967 S/T= .972

AREA

SULCO	ESTACAO		I	P	S	T
SBO 85	MED GER	coef.	4.957	5.835	5.920	6.085
		expo.	1.608	1.571	1.589	1.595
		r ²	.989	.987	.989	.987

Evolucao: I/P= .906 P/S= .955 S/T= .962



ANEXO C2.3

Evolução da secção transversal em alguns sulcos

PERIMETRO

SULCO	ESTACAO		I	P	S	T	Q
SB S.2	CAB	coef.	12.073	9.481	9.975	13.918	13.060
		expo.	.485	.598	.637	.497	.543
		r+2	.991	.996	.996	.996	.997
Evolucao: I/P=1.070 P/S= .895 S/T= .888 T/Q= .994							
SB S.5	CAB	coef.	12.073	17.501	16.360	16.133	7.056
		expo.	.485	.375	.401	.415	.817
		r+2	.991	.998	.985	.994	.993
Evolucao: I/P= .811 P/S=1.030 S/T= .993 T/Q=1.226							
S5AS.2	CAB	coef.	12.073	27.176	21.137	19.195	14.166
		expo.	.485	.234	.426	.464	.631
		r+2	.991	.989	.901	.918	.940
Evolucao: I/P= .641 P/S= .971 S/T=1.040 T/Q=1.050							
S5AS.7	CAB	coef.	12.073	11.780	15.642	14.216	9.772
		expo.	.485	.560	.429	.473	.687
		r+2	.991	.995	.955	.986	.999
Evolucao: I/P= .913 P/S= .917 S/T=1.029 T/Q=1.047							
S5BS.2	CAB	coef.	12.073	9.490	14.469	14.872	14.363
		expo.	.485	.630	.404	.414	.441
		r+2	.991	.987	.968	.981	.982
Evolucao: I/P=1.018 P/S= .924 S/T= .959 T/Q= .993							
S5BS.7	CAB	coef.	12.073	13.489	12.510	12.341	11.453
		expo.	.485	.496	.535	.545	.565
		r+2	.991	.997	.999	.999	.999
Evolucao: I/P= .879 P/S=1.017 S/T= .998 T/Q=1.044							
S2 S.3	CAB	coef.	12.073	12.250	9.354	13.125	12.196
		expo.	.485	.501	.709	.524	.571
		r+2	.991	.992	.993	.995	.992
Evolucao: I/P= .961 P/S= .950 S/T= .949 T/Q=1.001							
S2 S.3	CAB	coef.	12.073	12.250	9.354	13.125	12.196
		expo.	.485	.501	.709	.524	.571
		r+2	.991	.992	.993	.995	.992
Evolucao: I/P= .961 P/S= .950 S/T= .949 T/Q=1.001							

ANEXO C2.3

- 2 -

PERIMETRO

SULCO	ESTACAO		I	P	S	T	Q
SBS.2	100	coef.	12.073	14.109	11.203	11.226	13.676
		expo.	.485	.424	.586	.562	.449
		r12	.991	.962	.957	.988	.997
Evolucao: I/P= .937 P/S= .985 S/T=1.036 T/Q= .973							
SBS.5	100	coef.	12.073	13.861	15.712	12.908	12.901
		expo.	.485	.453	.402	.527	.522
		r12	.991	.979	.992	.992	.993
Evolucao: I/P= .913 P/S= .952 S/T=1.007 T/Q=1.008							
S5AS.2	100	coef.	12.073	16.576	14.607	12.465	12.632
		expo.	.485	.423	.465	.557	.567
		r12	.991	.978	.997	.997	.992
Evolucao: I/P= .798 P/S=1.066 S/T=1.018 T/Q= .971							
S5AS.7	100	coef.	12.073	14.399	13.215	16.927	15.870
		expo.	.485	.464	.507	.400	.436
		r12	.991	.995	.993	.967	.964
Evolucao: I/P= .864 P/S=1.021 S/T= .917 T/Q=1.010							
S5BS.2	100	coef.	12.073	7.887	6.686	7.497	6.764
		expo.	.485	.680	.823	.750	.837
		r12	.991	.993	.979	.973	.994
Evolucao: I/P=1.134 P/S= .939 S/T=1.003 T/Q= .964							
S7 S.3	100	coef.	12.073	16.413	15.137	13.851	12.835
		expo.	.485	.389	.436	.476	.539
		r12	.991	.969	.979	.990	.995
Evolucao: I/P= .848 P/S=1.010 S/T=1.029 T/Q= .980							
S2 S.3	100	coef.	12.073	11.875	13.689	13.522	13.552
		expo.	.485	.574	.520	.491	.512
		r12	.991	.995	.994	.993	.996
Evolucao: I/P= .886 P/S= .942 S/T=1.058 T/Q= .965							

- 216 -

ANEXO C2.3

- 3 -

PERIMETRO

SULCO	ESTACAO		I	P	S	T	Q
S8 S.2	200	coef.	12.073	8.566	8.304	9.450	8.912
		expo.	.485	.669	.694	.685	.658
		r12	.991	.997	.999	.999	.984
		Evolucao: I/P=1.061 P/S= .991 S/T= .892 T/Q=1.105					
S8 S.5	200	coef.	12.073	10.000	8.158	8.203	7.398
		expo.	.485	.452	.641	.621	.706
		r12	.991	.971	.993	.993	.998
		Evolucao: I/P=1.268 P/S= .918 S/T=1.025 T/Q= .972					
S5AS.2	200	coef.	7.770	13.917	17.655	19.772	14.496
		expo.	.642	.458	.364	.304	.485
		r12	.990	.999	.992	.968	.985
		Evolucao: I/P= .739 P/S= .906 S/T= .974 T/Q=1.043					
S5AS.7	200	coef.	7.770	10.251	13.971	23.124	18.756
		expo.	.642	.630	.573	.307	.414
		r12	.990	.994	.965	.997	.998
		Evolucao: I/P= .772 P/S= .800 S/T= .899 T/Q=1.054					
S5BS.2	200	coef.	7.088	10.528	9.602	11.248	12.241
		expo.	.720	.590	.578	.540	.517
		r12	.986	.975	.986	.984	.976
		Evolucao: I/P= .824 P/S=1.117 S/T= .904 T/Q= .951					
S5BS.7	200	coef.	7.088	11.561	14.309	11.289	12.584
		expo.	.720	.481	.343	.475	.390
		r12	.986	.992	.983	.996	.986
		Evolucao: I/P= .886 P/S= .991 S/T=1.041 T/Q=1.019					
S2 S.3	200	coef.	7.273	6.585	9.872	9.407	9.459
		expo.	.675	.707	.583	.581	.594
		r12	.998	.993	.997	.993	.997
		Evolucao: I/P=1.049 P/S= .809 S/T=1.051 T/Q= .975					



ANEXO C2.4

Ajustamento da equação da parábola à secção transversal dos sulcos em 1984

GEOMETRIA DA SECCAO TRANSVERSAL
EQUACOES DA PARABOLA
ENSAIOS DE REGA DE 1984

REG-036

$$Y = B(0) + B(1)X + B(2)X^2$$

B(0)= 1254.547074261
B(1)=-1.712879924667
B(2)= 7.85210792E-04

TABELA DE REGRESSAO

ORIGEM	SOM QUADS.	G.L.	MED SQ
REGRESSAO	8406777.78407	2	4203388.892035
RESIDUO	2492297.57593	22	113286.2534514
TOTAL	10899075.36	24	

F= 37.10413897515
COEF. DE DETERMINACAO .7713294482689
COEF. DE CORRELACAO= .8782536355
ERR ST. ESTIM. 336.5802333

REG-037

$$Y = B(0) + B(1)X + B(2)X^2$$

B(0)= 1655.232327629
B(1)=-2.210533520233
B(2)= 9.07998270E-04

TABELA DE REGRESSAO

ORIGEM	SOM QUADS.	G.L.	MED SQ
REGRESSAO	10064517.35159	2	5032258.675795
RESIDUO	843444.38754	20	42172.219377
TOTAL	10907961.73913	22	

F= 119.326389508
COEF. DE DETERMINACAO .9226762609082
COEF. DE CORRELACAO= .960560389
ERR ST. ESTIM. 205.35875773

REG-038

$$Y = B(0) + B(1)X + B(2)X^2$$

B(0)= 965.113175089
B(1)=-1.135056908972
B(2)= 5.43695393E-04

TABELA DE REGRESSAO

ORIGEM	SOM QUADS.	G.L.	MED SQ
REGRESSAO	6548401.47452	2	3274200.73726
RESIDUO	1665963.74287	20	83298.1871435
TOTAL	8214365.21739	22	

F= 39.30698673693
COEF. DE DETERMINACAO .7971889855417

ANEXO C2.4

- 2 -

COEF. DE CORRELACAO= .89285440333
ERR ST. ESTIM. 288.61425319

REG-039

$Y = B(0) + B(1)X + B(2)X^2$
 $B(0) = 1179.855073912$
 $B(1) = -1.892513539712$
 $B(2) = 8.59596955E-04$

TABELA DE REGRESSAO

ORIGEM	SOM QUADS.	G.L.	MED SQ
REGRESSAO	9220927.5271	2	4610463.76355
RESIDUO	1300683.4329	22	59121.97422273
TOTAL	10521610.96	24	

F= 77.98223628631
 COEF. DE DETERMINACAO .8763798207475
 COEF. DE CORRELACAO= .93615160137
 ERR ST. ESTIM. 243.15010636

REG-040

$Y = B(0) + B(1)X + B(2)X^2$
 $B(0) = 1535.783265455$
 $B(1) = -2.270299013812$
 $B(2) = 9.00106182E-04$

TABELA DE REGRESSAO

ORIGEM	SOM QUADS.	G.L.	MED SQ
REGRESSAO	7689791.64332	2	3844895.82166
RESIDUO	2047239.31964	24	85301.63831833
TOTAL	9737030.96296	26	

F= 45.07411460623
 COEF. DE DETERMINACAO .7897470669008
 COEF. DE CORRELACAO= .88867714436
 ERR ST. ESTIM. 292.06444206

REG-041

$Y = B(0) + B(1)X + B(2)X^2$
 $B(0) = 1252.302251001$
 $B(1) = -1.652064189223$
 $B(2) = 7.05715941E-04$

TABELA DE REGRESSAO

ORIGEM	SOM QUADS.	G.L.	MED SQ
REGRESSAO	7469131.8131	2	3734565.90655
RESIDUO	887152.62168	20	44357.631084
TOTAL	8356284.43478	22	

F= 84.19218554476
 COEF. DE DETERMINACAO .8938340803734
 COEF. DE CORRELACAO= .94542798794
 ERR ST. ESTIM. 210.61251407

ANEXO C2.4

- 3 -

REG-042

Y = B(0) + B(1)X + B(2)X²
 B(0) = 854.106890459
 B(1) = -1.439970402421
 B(2) = 6.74984658E-04

TABELA DE REGRESSAO

ORIGEM	SOM QUADS.	G.L.	MED SQ
REGRESSAO	9963326.53547	2	4981663.267735
RESIDUO	1703839.30453	22	77447.241115
TOTAL	11667165.84	24	

F = 64.3233147626
 COEF. DE DETERMINACAO .8539628794263
 COEF. DE CORRELACAO = .9241011197
 ERR ST. ESTIM. 278.29344425

REG-043

Y = B(0) + B(1)X + B(2)X²
 B(0) = 455.180597529
 B(1) = -.790631637551
 B(2) = 5.18371197E-04

TABELA DE REGRESSAO

ORIGEM	SOM QUADS.	G.L.	MED SQ
REGRESSAO	11364940.04677	2	5682470.023385
RESIDUO	440811.69236	20	22040.584618
TOTAL	11805751.73913	22	

F = 257.8184799483
 COEF. DE DETERMINACAO .9626612771384
 COEF. DE CORRELACAO = .98115303452
 ERR ST. ESTIM. 148.46071742

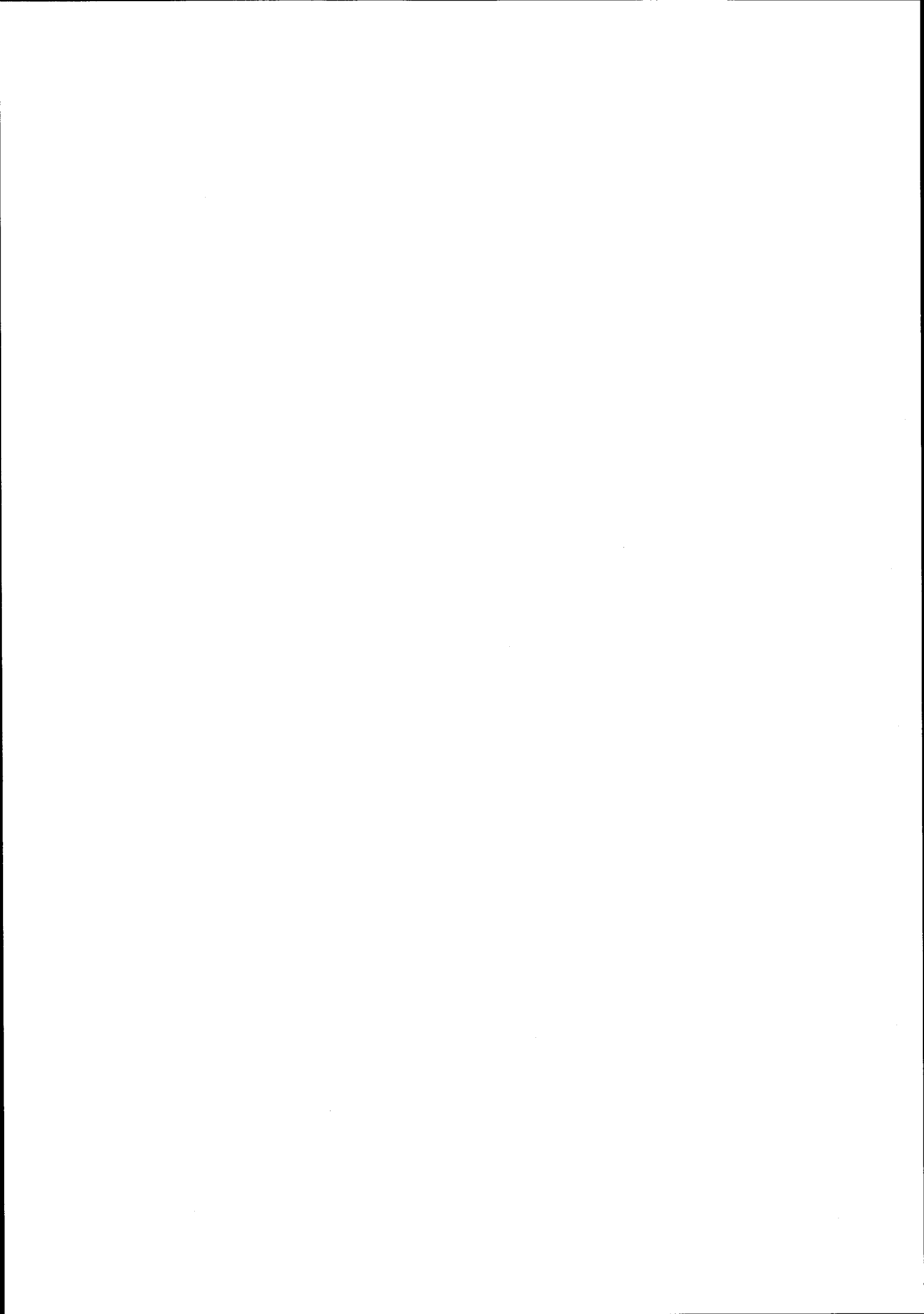
REG-044

Y = B(0) + B(1)X + B(2)X²
 B(0) = 1097.692017255
 B(1) = -1.792917947907
 B(2) = 8.15262428E-04

TABELA DE REGRESSAO

ORIGEM	SOM QUADS.	G.L.	MED SQ
REGRESSAO	12147132.78366	2	6073566.39183
RESIDUO	1555079.15182	28	55538.54113643
TOTAL	13702211.93548	30	

F = 109.3576868883
 COEF. DE DETERMINACAO .8865088965824
 COEF. DE CORRELACAO = .94154601405
 ERR ST. ESTIM. 235.6661646



ANEXO C3.1

Equações do avanço e da infiltração obtidas pelo método de Elliott e Walker extendido; alguns casos da 2ª rega e segs.

EQUAÇÕES EMPÍRICAS DA INFILTRAÇÃO

BALANÇO VOLUMÉTRICO DO AVANÇO
EXTENSÃO DO MÉTODO DE ELLIOTT & WALKER

	k	a	if
SR2/.75 S0= 0.008 Q0= 1.09 l/s Eq. avanço: p= 4.695 r= .704			
KOST.MOD.	17.173	0.251	0.024
KOSTIAKOV	15.878	0.279	
PHILIP	8.912	0.500	-0.290
SR5/.75 S0= 0.008 Q0= 1.24 l/s Eq. avanço: p= 4.218 r= .716			
KOST.MOD.	75.775	-0.079	0.144
KOSTIAKOV	41.646	0.116	
PHILIP	14.100	0.500	-0.626
SR7/1.5 S0= 0.005 Q0= 1.30 l/s Eq. avanço: p= 2.631 r= .781			
KOST.MOD.	451.281	-0.609	0.360
KOSTIAKOV	65.610	0.059	
PHILIP	17.687	0.500	-0.800
SR11/.75 S0= 0.005 Q0= 1.04 l/s Eq. avanço: p= 3.861 r= .729			
KOST.MOD.	24.397	0.189	0.024
KOSTIAKOV	22.388	0.218	
PHILIP	10.361	0.500	-0.384
SR13/1.5 S0= 0.005 Q0= 1.11 l/s Eq. avanço: p= 2.545 r= .742			
KOST.MOD.	226.338	-0.295	0.246
KOSTIAKOV	51.970	0.134	
PHILIP	15.954	0.500	-0.563
SR17/.75 S0= 0.005 Q0= 1.31 l/s Eq. avanço: p= 7.335 r= .612			
KOST.MOD.	2.479	0.661	0.084
KOSTIAKOV	2.353	0.706	
PHILIP	3.350	0.500	0.261
SR19/.75 S0= 0.002 Q0= 1.57 l/s Eq. avanço: p= 13.309 r= .509			
KOST.MOD.	3.212	0.649	0.102
KOSTIAKOV	3.052	0.693	
PHILIP	4.184	0.500	0.309

ANEXO C3.1

- 2 -

EQUAÇÕES EMPÍRICAS DA INFILTRAÇÃO

BALANÇO VOLUMÉTRICO DO AVANÇO
EXTENSÃO DO MÉTODO DE ELLIOTT & WALKER

	k	a	if
TR2/.75 S0= 0.008 Q0= 1.11 l/s			
Eq. avanço: p= 1.927 r= .859			
KOST.MOD.	21.364	0.209	0.036
KOSTIAKOV	18.915	0.251	
PHILIP	9.755	0.500	-0.341
TR5/.75 S0= 0.008 Q0= 1.55 l/s			
Eq. avanço: p= 2.809 r= .784			
KOST.MOD.	85.807	-0.158	0.372
KOSTIAKOV	21.121	0.310	
PHILIP	12.732	0.500	-0.361
TR7/1.5 S0= 0.005 Q0= 1.45 l/s			
Eq. avanço: p= 1.734 r= .869			
KOST.MOD.	77.413	0.006	0.030
KOSTIAKOV	70.748	0.036	
PHILIP	18.977	0.500	-0.952
TR11/.75 S0= 0.005 Q0= 0.98 l/s			
Eq. avanço: p= 1.263 r= .937			
KOST.MOD.	48.919	-0.002	0.048
KOSTIAKOV	39.270	0.071	
PHILIP	11.858	0.500	-0.576
TR13/1.5 S0= 0.005 Q0= 1.16 l/s			
Eq. avanço: p= 4.036 r= .677			
KOST.MOD.	95.373	-0.200	0.336
KOSTIAKOV	14.279	0.382	
PHILIP	10.163	0.500	-0.171
TR17/.75 S0= 0.005 Q0= 1.54 l/s			
Eq. avanço: p= 5.691 r= .675			
KOST.MOD.	2.417	0.695	0.084
KOSTIAKOV	2.342	0.731	
PHILIP	3.415	0.500	0.325
TR21/.75 S0= 0.002 Q0= 2.28 l/s			
Eq. avanço: p= 7.316 r= .658			
KOST.MOD.	16.510	0.303	0.288
KOSTIAKOV	11.418	0.465	
PHILIP	10.632	0.500	-0.088

ANEXO C3.1

- 3 -

EQUAÇÕES EMPÍRICAS DA INFILTRAÇÃO

BALANÇO VOLUMÉTRICO DO AVANÇO
EXTENSÃO DO MÉTODO DE ELLIOTT & WALKER

	k	a	if
QR2/.75 S0= 0.008 Q0= 1.07 1/s Eq. avanço: p= 3.036 r= .783			
KDST.MOD.	18.509	0.161	0.102
KDSTIAKOV	12.125	0.310	
PHILIP	7.450	0.500	-0.222
QR5/.75 S0= 0.008 Q0= 1.45 1/s Eq. avanço: p= 3.283 r= .763			
KDST.MOD.	50.756	-0.010	0.270
KDSTIAKOV	20.270	0.301	
PHILIP	12.005	0.500	-0.358
QR7/1.5 S0= 0.005 Q0= 1.48 1/s Eq. avanço: p= 3.899 r= .679			
KDST.MOD.	%-10259.840	-1.224	0.288
KDSTIAKOV	717.313	-0.508	
PHILIP	30.557	0.500	-1.881
QR11/.75 S0= 0.005 Q0= 0.93 1/s Eq. avanço: p= 3.722 r= .676			
KDST.MOD.	393.480	-0.490	0.018
KDSTIAKOV	343.753	-0.442	
PHILIP	17.673	0.500	-1.066
QR13/1.5 S0= 0.005 Q0= 0.96 1/s Eq. avanço: p= 2.681 r= .718			
KDST.MOD.	%-133853500.000	-2.591	0.096
KDSTIAKOV	%-4241678.000	-2.015	
PHILIP	42.448	0.500	-3.138
QR17/.75 S0= 0.005 Q0= 1.58 1/s Eq. avanço: p= 3.969 r= .732			
KDST.MOD.	8.701	0.426	0.168
KDSTIAKOV	6.607	0.541	
PHILIP	7.252	0.500	0.069
QR21/.75 S0= 0.002 Q0= 2.23 1/s Eq. avanço: p= 10.241 r= .556			
KDST.MOD.	65.669	-0.238	0.738
KDSTIAKOV	7.558	0.577	
PHILIP	8.857	0.500	0.180



ANEXO C.3.2

EQUAÇÕES OBTIDAS EM INFILTRÔMETROS DE SULCO BLOQUEADO

("sulcos isolados", segunda rega, 1983)

TESTE N°	EQUAÇÃO	i_f	k	a	SQD	r^2	y (mm)
1	KOSTIAKOV	0.000	0.277	1.122	937.959	0.9027	50
	K - L	0.285	1.385	0.433	30.315	0.8876	
	K - L2P	0.285	6.495	0.059	88.733	0.0000	
	KOSTOPT	0.000	1.200	0.747	10.256	0.0000	
	K - LOPT	0.285	12.750	-0.080	342.620	0.0000	
	HORTON	0.123	0.429	0.008	254.466	0.1256	
2	KOSTIAKOV	0.000	0.296	1.185	3711.024	0.8998	75
	K - L	0.293	1.240	0.645	367.867	0.8866	
	K - L2P	0.293	8.168	0.167	304.117	0.0000	
	KOSTOPT	0.000	2.943	0.606	91.979	0.0000	
	K - LOPT	0.293	8.168	0.167	304.117	0.0000	
	HORTON	0.048	0.707	0.012	532.386	0.1800	
3	KOSTIAKOV	0.000	0.455	1.100	1773.325	0.9224	100
	K - L	0.416	1.462	0.535	195.766	0.8510	
	K - L2P	0.416	1.578	0.479	214.139	0.0000	
	KOSTOPT	0.000	1.772	0.754	114.106	0.0000	
	K - LOPT	0.146	3.302	0.324	160.727	0.0000	
	HORTON	0.061	0.948	0.018	547.757	0.2540	
4	KOSTIAKOV	0.000	0.489	1.022	1597.925	0.8840	50
	K - L	0.248	1.905	0.494	228.740	0.7882	
	K - L2P	0.248	11.493	0.029	253.860	0.0000	
	KOSTOPT	0.000	3.250	0.539	39.634	0.0000	
	K - LOPT	0.248	11.493	0.029	253.860	0.0000	
	HORTON	0.036	0.633	0.014	302.036	0.2105	
5	KOSTIAKOV	0.000	5.888	0.656	207.118	0.9950	100
	K - L	0.546	7.156	0.485	394.217	0.9537	
	K - L2P	0.546	16.739	0.276	567.379	0.0000	
	KOSTOPT	0.000	8.180	0.576	118.400	0.0000	
	K - LOPT	0.546	10.992	0.363	488.160	0.0000	
	HORTON	0.476	1.970	0.020	1084.768	0.6662	
6	KOSTIAKOV	0.000	3.279	0.612	11.697	0.9978	75
	K - L	0.253	4.087	0.435	37.804	0.9696	
	K - L2P	0.253	7.051	0.299	54.164	0.0000	
	KOSTOPT	0.000	3.647	0.585	9.234	0.0000	
	K - LOPT	0.253	6.858	0.305	50.873	0.0000	
	HORTON	0.221	0.868	0.020	403.677	0.4984	

ANEXO C3.2

- 2 -

	KOSTIAKOV	0.000	1.359	0.842	254.576	0.9803	
	K - L	0.613	10.500	-0.348	412.318	0.0777	
7	K - L2P	0.613	70.620	-0.901	680.174	0.0000	100
	KOSTOPT	0.000	1.695	0.791	224.799	0.0000	
	K - LOPT	0.613	18.076	-0.618	506.541	0.0000	
	HORTON	0.039	0.663	0.005	1422.025	0.0282	
	KOSTIAKOV	0.000	0.917	0.877	51.813	0.9950	
	K - L	0.656	0.979	-0.185	1314.991	0.3292	
8	K - L2P	0.656	0.000	0.000	1217.131	0.0000	75
	KOSTOPT	0.000	0.671	0.955	90.050	0.0000	
	K - LOPT	0.656	0.671	0.955	####.###	0.0000	
	HORTON	0.089	0.514	0.002	300.492	0.0149	
	KOSTIAKOV	0.000	0.734	0.857	16.075	0.9853	
	K - L	0.384	1.797	-0.196	24.239	0.0617	
9	K - L2P	0.384	##.###	-2.178	9036.264	0.0000	50
	KOSTOPT	0.000	0.682	0.877	18.775	0.0000	
	K - LOPT	0.384	13.303	-1.001	37.070	0.0000	
	HORTON	0.194	0.387	0.004	101.790	0.0331	
	KOSTIAKOV	0.000	3.457	0.702	48.567	0.9956	
	K - L	0.544	4.331	0.457	114.203	0.9180	
10	K - L2P	0.544	11.112	0.208	182.358	0.0000	100
	KOSTOPT	0.000	4.393	0.639	23.161	0.0000	
	K - LOPT	0.544	9.024	0.253	147.381	0.0000	
	HORTON	0.461	1.391	0.024	344.456	0.6419	
	KOSTIAKOV	0.000	2.414	0.624	25.331	0.9930	
	K - L	0.429	36.494	-0.620	167.952	0.3747	
11	K - L2P	0.429	##.###	-1.062	1974.300	0.0000	75
	KOSTOPT	0.000	1.691	0.716	59.205	0.0000	
	K - LOPT	0.429	21.789	-0.546	151.887	0.0000	
	HORTON	0.216	0.450	0.007	717.025	0.0960	
	KOSTIAKOV	0.000	1.272	0.747	36.606	0.9847	
	K - L	0.179	1.328	0.610	42.276	0.9368	
12	K - L2P	0.179	3.958	0.332	44.528	0.0000	50
	KOSTOPT	0.000	1.984	0.630	17.478	0.0000	
	K - LOPT	0.179	2.925	0.397	32.561	0.0000	
	HORTON	0.158	0.516	0.016	206.117	0.2726	
	KOSTIAKOV	0.000	2.171	0.987	####.###	0.9384	
	K - L	1.193	2.740	0.706	2655.343	0.8580	
13	K - L2P	1.193	11.928	0.337	397.956	0.0000	100
	KOSTOPT	0.000	6.121	0.733	58.733	0.0000	
	K - LOPT	1.193	9.148	0.391	557.411	0.0000	
	HORTON	0.967	2.413	0.013	956.956	0.6044	

ANEXO C3.2

- 3 -

	KOSTIAKOV	0.000	1.292	0.911	1238.908	0.9432	
	K - L	0.488	0.537	0.924	1630.192	0.7472	
14	K - L2P	0.488	7.278	0.264	158.764	0.0000	75
	KOSTOPT	0.000	2.997	0.699	26.589	0.0000	
	K - LOPT	0.488	5.140	0.335	155.528	0.0000	
	HORTON	0.354	1.083	0.015	241.086	0.4650	
	KOSTIAKOV	0.000	1.061	0.944	2085.703	0.9522	
	K - L	0.424	0.410	0.998	2674.785	0.7793	
15	K - L2P	0.424	7.770	0.253	338.197	0.0000	50
	KOSTOPT	0.000	3.510	0.648	78.392	0.0000	
	K - LOPT	0.424	7.770	0.253	338.197	0.0000	
	HORTON	0.310	1.107	0.016	120.933	0.6184	
	KOSTIAKOV	0.000	5.412	0.747	214.220	0.9914	
	K - L	1.203	7.140	0.427	572.650	0.8348	
16	K - L2P	1.203	22.357	0.136	901.061	0.0000	100
	KOSTOPT	0.000	6.522	0.701	135.640	0.0000	
	K - LOPT	1.203	15.934	0.207	767.970	0.0000	
	HORTON	0.998	2.518	0.023	967.453	0.5069	
	KOSTIAKOV	0.000	3.799	0.612	255.474	0.9518	
	K - L	0.423	7.169	0.240	347.988	0.3502	
17	K - L2P	0.423	49.156	-0.228	1315.945	0.0000	75
	KOSTOPT	0.000	4.888	0.548	123.221	0.0000	
	K - LOPT	0.423	16.689	-0.002	417.557	0.0000	
	HORTON	0.014	0.644	0.012	5883.365	0.0672	
	KOSTIAKOV	0.000	1.368	0.776	58.758	0.9934	
	K - L	0.269	1.525	0.575	82.245	0.9401	
18	K - L2P	0.269	3.009	0.396	80.198	0.0000	50
	KOSTOPT	0.000	1.954	0.691	19.243	0.0000	
	K - LOPT	0.269	3.358	0.374	75.758	0.0000	
	HORTON	0.238	0.668	0.015	101.818	0.6357	
	KOSTIAKOV	0.000	6.140	0.665	1907.967	0.9620	
	K - L	0.485	7.494	0.518	2213.816	0.8603	
19	K - L2P	0.485	29.698	0.196	2172.525	0.0000	100
	KOSTOPT	0.000	12.200	0.504	581.217	0.0000	
	K - LOPT	0.485	22.686	0.249	1586.696	0.0000	
	HORTON	0.421	2.062	0.019	3861.117	0.6811	
	KOSTIAKOV	0.000	1.693	0.695	38.906	0.9888	
	K - L	0.220	2.119	0.484	59.849	0.8987	
20	K - L2P	0.220	5.513	0.241	61.412	0.0000	75
	KOSTOPT	0.000	2.479	0.601	11.814	0.0000	
	K - LOPT	0.220	4.421	0.287	54.822	0.0000	
	HORTON	0.198	0.756	0.031	105.990	0.5759	

- 229 -

ANEXO C3.2

- 4 -

	KOSTIAKOV	0.000	0.504	1.060	838.681	0.9734	
	K - L	0.331	0.123	1.224	1038.488	0.8612	
21	K - L2P	0.331	1.124	0.640	548.780	0.0000	50
	KOSTOPT	0.000	2.116	0.712	403.125	0.0000	
	K - LOPT	0.331	2.075	0.512	475.939	0.0000	
	HORTON	0.036	0.825	0.014	1295.589	0.1317	
	KOSTIAKOV	0.000	2.769	0.808	90.508	0.9956	
	K - L	0.895	3.881	0.401	196.186	0.7716	
22	K - L2P	0.895	15.135	0.074	329.113	0.0000	75
	KOSTOPT	0.000	3.130	0.778	20.149	0.0000	
	K - LOPT	0.895	8.139	0.201	184.549	0.0000	
	HORTON	0.756	1.377	0.014	571.118	0.6132	
	KOSTIAKOV	0.000	3.426	0.662	32.268	0.9966	
	K - L	0.440	4.849	0.390	100.352	0.8979	
23	K - L2P	0.440	10.634	0.187	142.935	0.0000	100
	KOSTOPT	0.000	3.994	0.623	15.957	0.0000	
	K - LOPT	0.440	8.830	0.226	120.564	0.0000	
	HORTON	0.256	0.897	0.011	1179.002	0.2502	
	KOSTIAKOV	0.000	0.855	0.914	85.464	0.9851	
	K - L	0.344	0.568	0.801	79.509	0.9061	
24	K - L2P	0.344	2.585	0.390	58.624	0.0000	
	KOSTOPT	0.000	1.608	0.745	33.054	0.0000	
	K - LOPT	0.344	2.585	0.390	58.624	0.0000	
	HORTON	0.266	0.738	0.018	50.386	0.3234	
	KOSTIAKOV	0.000	0.791	0.847	32.353	0.9722	
	K - L	0.256	0.691	0.646	31.878	0.8023	
25	K - L2P	0.256	2.824	0.277	24.106	0.0000	50
	KOSTOPT	0.000	1.233	0.729	15.930	0.0000	
	K - LOPT	0.256	2.077	0.345	22.058	0.0000	
	HORTON	0.014	0.246	0.001	1083.047	0.0005	
	KOSTIAKOV	0.000	6.069	0.671	750.956	0.9847	
	K - L	0.629	7.588	0.484	1049.647	0.8915	
26	K - L2P	0.629	25.327	0.189	1403.002	0.0000	100
	KOSTOPT	0.000	8.900	0.574	304.595	0.0000	
	K - LOPT	0.629	16.889	0.273	986.116	0.0000	
	HORTON	0.544	2.157	0.022	2084.736	0.6805	
	KOSTIAKOV	0.000	2.671	0.644	22.286	0.9898	
	K - L	0.397	5.913	0.171	93.428	0.3011	
27	K - L2P	0.397	24.946	-0.182	313.721	0.0000	75
	KOSTOPT	0.000	2.798	0.635	23.806	0.0000	
	K - LOPT	0.397	10.272	0.000	135.491	0.0000	
	HORTON	0.252	0.644	0.015	800.443	0.3004	

ANEXO C3.3

Equações obtidas em infiltrômetros de sulco bloqueado
Regressão por otimização; ensaio de 1983, 2ª "rega"

EQ. INF. S. BLOQ. 1983 SR

			k	a	if	SQD	
SB39	Y0= 50	PM=.252					
			KOSTIAKOV	1.321	.725	0.000	9
			KOST.MOD.	1.544	.563	.165	8
			PHILIP	1.765	.500	.195	8
SB40	Y0= 75	PM=.313					
			KOSTIAKOV	3.072	.598	0.000	85
			KOST.MOD.	3.777	.480	.140	108
			PHILIP	3.662	.500	.116	105
SB41	Y0=100	PM=.364					
			KOSTIAKOV	1.909	.737	0.000	115
			KOST.MOD.	2.115	.584	.262	130
			PHILIP	2.420	.500	.329	135
SB42	Y0= 50	PM=.252					
			KOSTIAKOV	3.181	.544	0.000	28
			KOST.MOD.	3.885	.442	.093	36
			PHILIP	3.499	.500	.039	31
SB43	Y0=100	PM=.364					
			KOSTIAKOV	7.446	.600	0.000	77
			KOST.MOD.	9.633	.469	.346	150
			PHILIP	9.071	.500	.271	127
SB44	Y0= 75	PM=.313					
			KOSTIAKOV	3.525	.593	0.000	9
			KOST.MOD.	4.245	.482	.155	13
			PHILIP	4.086	.500	.137	12
SB45	Y0=100	PM=.364					
			KOSTIAKOV	1.837	.770	0.000	222
			KOST.MOD.	1.961	.605	.325	232
			PHILIP	2.495	.500	.393	240
SB46	Y0= 75	PM=.313					
			KOSTIAKOV	.939	.872	0.000	54
			KOST.MOD.	.714	.677	.361	54
			PHILIP	.946	.500	.426	54
SB47	Y0= 50	PM=.252					
			KOSTIAKOV	.121	1.306	0.000	384
			KOST.MOD.	.121	1.306	1.119	0
			PHILIP	.307	.500	.376	437

ANEXO C3.3

- 2 -

EQS. INF. S. BLOQ 1983 SR

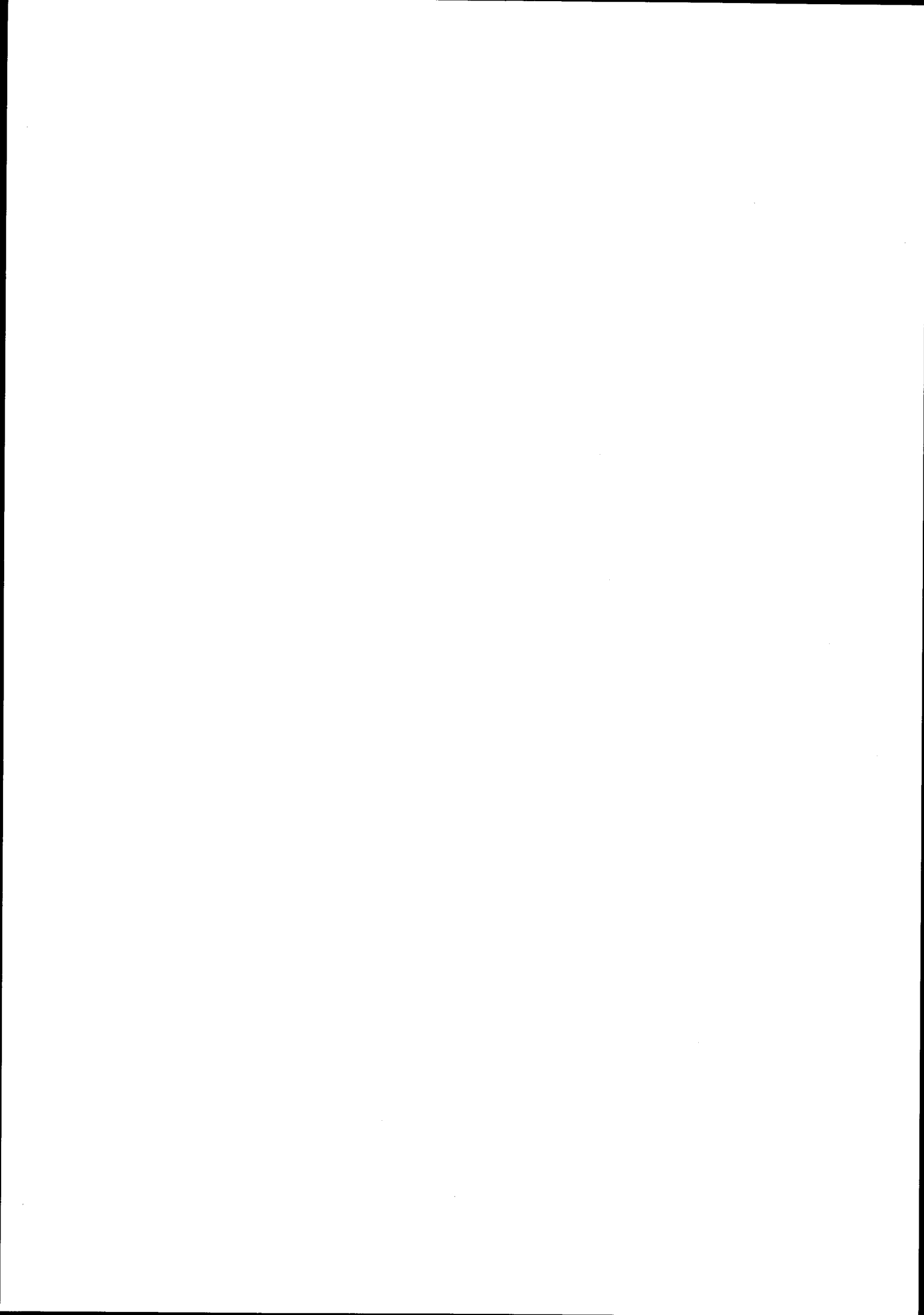
		k	a	if	SQD	
SB48	Y0=100	PN=.364				
		KOSTIAKOV	4.383	.643	0.000	9
		KOST.MOD.	5.108	.522	.287	18
		PHILIP	5.299	.500	.325	21
SB49	Y0= 75	PN=.313				
		KOSTIAKOV	1.626	.723	0.000	229
		KOST.MOD.	1.972	.557	.200	210
		PHILIP	2.173	.500	.241	203
SB50	Y0= 50	PN=.252				
		KOSTIAKOV	.609	.932	0.000	352
		KOST.MOD.	2.538	.211	.367	321
		PHILIP	1.235	.500	.309	334
SB51	Y0=100	PN=.364				
		KOSTIAKOV	6.285	.727	0.000	28
		KOST.MOD.	7.782	.552	.797	51
		PHILIP	8.660	.500	.918	67
SB53	Y0= 50	PN=.252				
		KOSTIAKOV	2.264	.759	0.000	496
		KOST.MOD.	2.885	.552	.368	455
		PHILIP	3.135	.500	.423	450
SB54	Y0=100	PN=.364				
		KOSTIAKOV	4.986	.605	0.000	35
		KOST.MOD.	6.052	.485	.241	34
		PHILIP	5.950	.500	.206	32
SB55	Y0=100	PN=.364				
		KOSTIAKOV	6.396	.708	0.000	128
		KOST.MOD.	8.141	.535	.699	200
		PHILIP	8.675	.500	.793	219
SB56	Y0= 75	PN=.313				
		KOSTIAKOV	7.128	.461	0.000	90
		KOST.MOD.	6.837	.428	.105	88
		PHILIP	6.611	.500	-.065	90
SB57	Y0= 50	PN=.252				
		KOSTIAKOV	1.896	.699	0.000	11
		KOST.MOD.	2.300	.542	.193	20
		PHILIP	2.660	.500	.205	23

ANEXO C3.3

- 3 -

EQ. INF. S. BLDG 1983 SR

			k	a	if	SBD
SB58	Y0=100	PM=.364				
		KOSTIAKOV	11.195	.524	0.000	321
		KOST.MOD.	14.712	.412	.279	462
		PHILIP	12.334	.500	.020	336
SB59	Y0= 75	PM=.313				
		KOSTIAKOV	0.000	2.531	0.000	7303
		KOST.MOD.	0.000	2.531	0.000	7303
		PHILIP	.352	.500	.569	15273
SB60	Y0= 50	PM=.252				
		KOSTIAKOV	.037	1.654	0.000	4760
		KOST.MOD.	.037	1.654	4.015	0
		PHILIP	-2.932	.500	1.111	5717
SB61	Y0=100	PM=.364				
		KOSTIAKOV	5.078	.596	0.000	4
		KOST.MOD.	5.040	.540	.228	5
		PHILIP	5.213	.500	.328	5
SB62	Y0= 75	PM=.313				
		KOSTIAKOV	3.305	.765	0.000	14
		KOST.MOD.	3.860	.580	.562	18
		PHILIP	4.487	.500	.668	25
SB63	Y0= 50	PM=.252				
		KOSTIAKOV	.873	.841	0.000	74
		KOST.MOD.	1.301	.523	.266	65
		PHILIP	1.330	.500	.279	63
SB64	Y0=100	PM=.364				
		KOSTIAKOV	3.910	.628	0.000	10
		KOST.MOD.	4.759	.502	.227	16
		PHILIP	4.856	.500	.222	16
SB65	Y0= 75	PM=.313				
		KOSTIAKOV	.457	1.075	0.000	380
		KOST.MOD.	.457	1.075	.794	0
		PHILIP	-.220	.500	.669	386
SB67	Y0=100	PM=.364				
		KOSTIAKOV	9.181	.571	0.000	212
		KOST.MOD.	9.964	.486	.337	332
		PHILIP	10.749	.500	.199	277
SB68	Y0= 75	PM=.313				
		KOSTIAKOV	3.063	.611	0.000	9
		KOST.MOD.	3.818	.485	.155	8
		PHILIP	3.751	.500	.135	8



ANEXO C3.4

Equações obtidas em infiltrômetros de sulco bloqueado

Regressão por otimização; ensaio de 1985

EQS. INF.S. BLOQ. 1985 PR

		k	a	if	SQD
SB 1	Y0= 35 PM= .225				
	KOSTIAKOV	8.414	.446	0.000	99
	KOST.MOD.	9.420	.385	.108	130
	PHILIP	8.026	.500	-.165	69
SB 2	Y0= 46 PM= .261				
	KOSTIAKOV	5.623	.509	0.000	17
	KOST.MOD.	7.701	.386	.124	55
	PHILIP	5.779	.500	.007	19
SB 3	Y0= 30 PM= .207				
	KOSTIAKOV	17.056	.301	0.000	1359
	KOST.MOD.	18.069	.273	.059	1663
	PHILIP	11.229	.500	-.409	444
SB 4	Y0= 53 PM= .282				
	KOSTIAKOV	4.698	.609	0.000	106
	KOST.MOD.	6.332	.464	.235	200
	PHILIP	5.930	.500	.179	170
SB 5	Y0= 75 PM= .341				
	KOSTIAKOV	18.180	.362	0.000	1866
	KOST.MOD.	21.771	.293	.111	2614
	PHILIP	13.146	.500	-.324	914
SB 6	Y0= 73 PM= .336				
	KOSTIAKOV	9.000	.557	0.000	531
	KOST.MOD.	10.260	.462	.295	956
	PHILIP	10.433	.500	.122	713
SB 7	Y0= 79 PM= .351				
	KOSTIAKOV	9.459	.407	0.000	323
	KOST.MOD.	10.991	.337	.086	422
	PHILIP	7.614	.500	-.135	317

ANEXO C3.4

- 2 -

EQS. INF. S. BLOQ 1985 SR

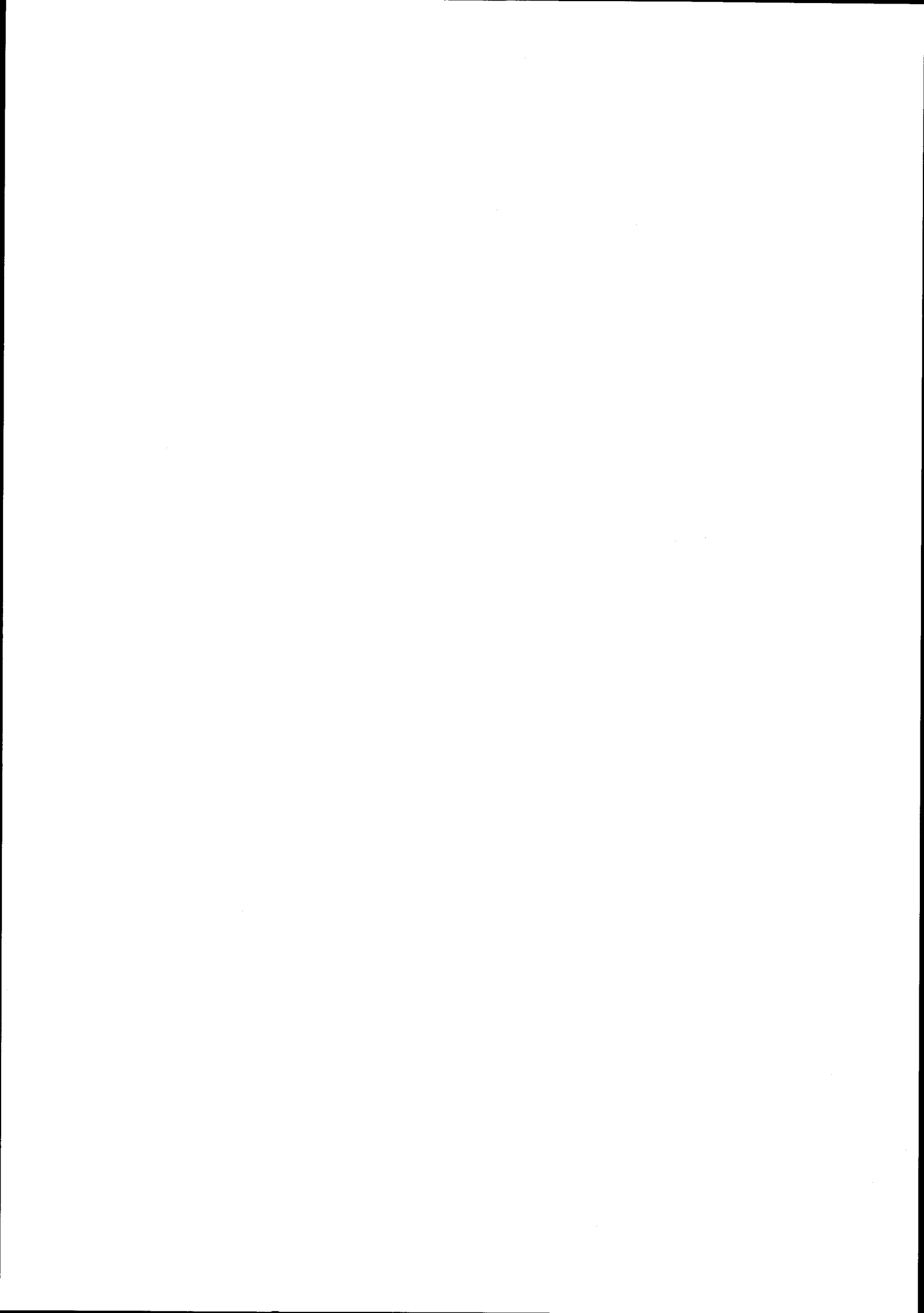
		k	a	if	SQD	
SB 8	Y0= 40	PM= .237				
		KOSTIAKOV	4.940	.542	0.000	501
		KOST.MOD.	6.210	.434	.143	723
		PHILIP	5.539	.500	.036	550
SB 9	Y0= 49	PM= .267				
		KOSTIAKOV	1.976	.683	0.000	20
		KOST.MOD.	2.595	.514	.178	21
		PHILIP	2.696	.500	.185	22
SB10	Y0= 63	PM= .309				
		KOSTIAKOV	7.070	.434	0.000	449
		KOST.MOD.	8.494	.355	.081	603
		PHILIP	6.200	.500	-.099	332
SB11	Y0= 60	PM= .300				
		KOSTIAKOV	9.960	.476	0.000	57
		KOST.MOD.	12.194	.386	.166	150
		PHILIP	9.615	.500	-.066	41
SB12	Y0= 71	PM= .331				
		KOSTIAKOV	5.594	.445	0.000	395
		KOST.MOD.	6.570	.370	.070	513
		PHILIP	5.732	.500	-.133	266
SB13	Y0= 69	PM= .326				
		KOSTIAKOV	5.006	.652	0.000	1568
		KOST.MOD.	6.388	.504	.352	2026
		PHILIP	6.443	.500	.359	2041
SB14	Y0= 80	PM= .355				
		KOSTIAKOV	9.251	.336	0.000	197
		KOST.MOD.	10.555	.285	.044	265
		PHILIP	7.087	.500	-.264	45

ANEXO C3.4

- 3 -

EQS. INF. S. BLOQ. 1985 TR

		k	a	if	SOD
SB15	Y0= 53 PM= .288				
	KOSTIAKOV	3.713	.337	0.000	44
	KOST.MOD.	4.379	.273	.018	51
	PHILIP	2.462	.500	-.067	39
SB16	Y0= 61 PM= .311				
	KOSTIAKOV	6.856	.315	0.000	96
	KOST.MOD.	7.285	.282	.027	121
	PHILIP	5.009	.500	-.209	23
SB17	Y0= 70 PM= .336				
	KOSTIAKOV	10.261	.335	0.000	92
	KOST.MOD.	9.616	.329	.049	121
	PHILIP	7.591	.500	-.298	23
SB18	Y0= 82 PM= .367				
	KOSTIAKOV	3.286	.405	0.000	58
	KOST.MOD.	3.368	.368	.030	67
	PHILIP	3.133	.500	-.102	43
SB19	Y0= 49 PM= .275				
	KOSTIAKOV	8.004	.481	0.000	27
	KOST.MOD.	9.137	.408	.139	66
	PHILIP	7.879	.500	-.056	20
SB20	Y0= 60 PM= .308				
	KOSTIAKOV	5.615	.549	0.000	92
	KOST.MOD.	7.041	.438	.172	180
	PHILIP	6.307	.500	.070	121
SB21	Y0= 68 PM= .330				
	KOSTIAKOV	2.436	.720	0.000	250
	KOST.MOD.	2.672	.574	.293	321
	PHILIP	3.230	.500	.347	365

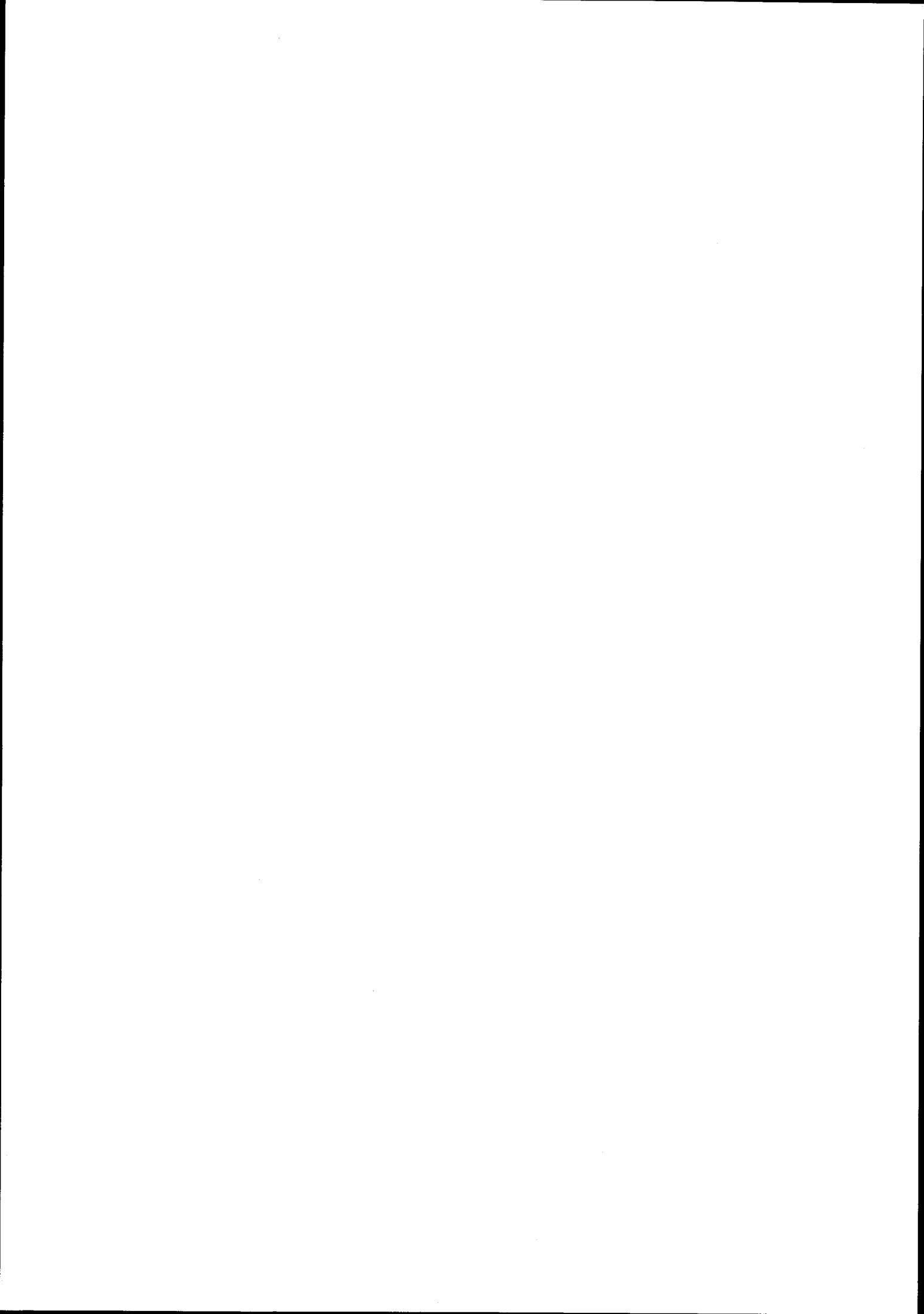


ANEXO C3.5

Equações obtidas em infiltrômetro de sulco com retorno
Ensaio de 1984, 1ª "rega"

EQ. INF.C/RETORN 1984 PR

		k	a	if	SQD		
SB 1	Y0= 40	PN= .233					
			KOSTIAKOV	7.676	.510	0.000	63
			KOST.MOD.	10.480	.387	.170	67
			PHILIP	7.884	.500	.015	60
SB 2	Y0= 80	PN= .315					
			KOSTIAKOV	9.497	.591	0.000	72
			KOST.MOD.	12.719	.450	.410	300
			PHILIP	11.727	.500	.256	186
SB 4	Y0= 60	PN= .273					
			KOSTIAKOV	6.125	.555	0.000	216
			KOST.MOD.	9.212	.399	.197	133
			PHILIP	6.964	.500	.086	175
SB 5	Y0= 40	PN= .202					
			KOSTIAKOV	5.091	.659	0.000	953
			KOST.MOD.	7.039	.486	.379	1446
			PHILIP	7.632	.500	.303	1354
SB 6	Y0= 70	PN= .268					
			KOSTIAKOV	6.581	.538	0.000	242
			KOST.MOD.	8.764	.410	.184	194
			PHILIP	6.991	.500	.074	215
SB 7	Y0= 50	PN= .244					
			KOSTIAKOV	3.585	.665	0.000	157
			KOST.MOD.	3.585	.665	.280	0
			PHILIP	4.989	.500	.256	268
SB 8	Y0= 80	PN= .323					
			KOSTIAKOV	3.498	.682	0.000	43
			KOST.MOD.	4.857	.501	.312	88
			PHILIP	4.962	.500	.305	86
SB 9	Y0= 70	PN= .268					
			KOSTIAKOV	1.883	.800	0.000	529
			KOST.MOD.	3.363	.495	.419	425
			PHILIP	3.064	.500	.441	419
SB10	Y0= 60	PN= .273					
			KOSTIAKOV	14.342	.521	0.000	242
			KOST.MOD.	18.916	.404	.349	159
			PHILIP	14.810	.500	.102	221



ANEXO C3.6

Equações obtidas em infiltrômetro de sulco com retorno;
ensaio de 1985, 2.^a "rega"

EQS. INF. RTN 1985 PR

	k	a	if	SBD
P1 Y0= 50 W= .75 PM= .328				
KOSTIAKOV	44.220	.117	0	20
KOST.MODIF.	46.424	.096	.029	17
PHILIP	15.505	.500	-.747	1544
P2 Y0= 60 W= 1.5 PM= .249				
KOSTIAKOV	1.169	.514	0	2
KOST.MODIF.	1.653	.366	.034	5
PHILIP	1.219	.500	.003	2
P4 Y0= 77 W= 1.5 PM= .319				
KOSTIAKOV	29.597	.522	0	1489
KOST.MODIF.	40.613	.377	.927	3108
PHILIP	32.142	.500	.058	1593
P5 Y0= 83 W= .75 PM= .368				
KOSTIAKOV	.439	.415	0	0
KOST.MODIF.	.543	.316	.006	0
PHILIP	.345	.500	-.005	0
P6 Y0= 54 W= 1.5 PM= .282				
KOSTIAKOV	96.416	.534	0	65360
KOST.MODIF.	108.420	.424	3.315	118137
PHILIP	106.570	.500	.485	73354
P7 Y0= 62 W= .75 PM= .321				
KOSTIAKOV	.476	.416	0	0
KOST.MODIF.	.597	.320	.006	0
PHILIP	.400	.500	-.007	0
P8 Y0= 70 W= 1.5 PM= .329				
KOSTIAKOV	142.894	.421	0	72479
KOST.MODIF.	146.460	.362	1.992	116994
PHILIP	120.775	.500	-2.075	48234

ANEXO C3.6

- 2 -

EQS. INF. RTN 1985 SR

	k	a	if	SQD
S1 Y0= 40 W= .75 PM= .253				
KOSTIAKOV	3.67	.538	0	77
KOST.MODIF.	4.385	.426	.130	103
PHILIP	4.176	.500	.017	82
S2 Y0= 65 W= .75 PM= .301				
KOSTIAKOV	8.069	.413	0	115
KOST.MODIF.	10.203	.313	.105	212
PHILIP	6.720	.500	-.127	84
S4 Y0= 55 W= 1.5 PM= .307				
KOSTIAKOV	2.179	.552	0	7
KOST.MODIF.	3.273	.378	.086	11
PHILIP	2.436	.500	.033	7
S5 Y0= 55 W= .75 PM= .303				
KOSTIAKOV	11.349	.356	0	163
KOST.MODIF.	13.785	.274	.091	299
PHILIP	8.505	.500	-.251	33
S6 Y0= 65 W= 1.5 PM= .324				
KOSTIAKOV	2.224	.490	0	4
KOST.MODIF.	2.751	.382	.054	2
PHILIP	2.115	.500	.002	4
S7 Y0= 75 W= .75 PM= .336				
KOSTIAKOV	15.132	.342	0	156
KOST.MODIF.	17.984	.267	.108	317
PHILIP	10.290	.500	-.279	101
S8 Y0= 75 W= 1.5 PM= .355				
KOSTIAKOV	2.026	.381	0	2
KOST.MODIF.	2.398	.304	.020	3
PHILIP	1.563	.500	-.039	2

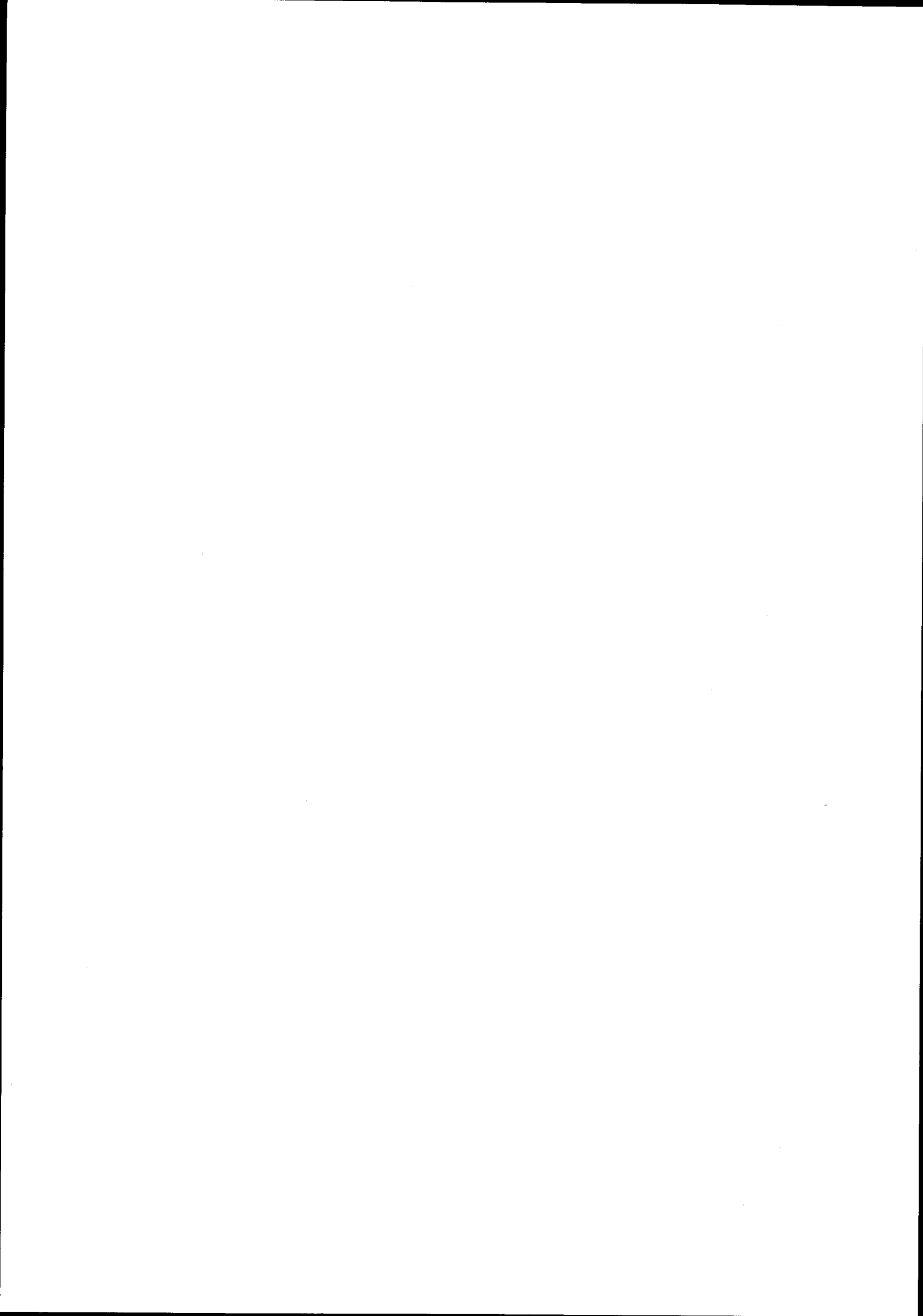
ANEXO C3.6

- 3 -

EQS. INF. RTN 1985 TR

	k	a	if	SBD
T1 Y0= 45 W= .75 PH= .268				
KOSTIAKOV	4.558	.471	0	35
KOST.MODIF.	4.979	.394	.095	50
PHILIP	4.361	.500	-.041	33
T2 Y0= 55 W= .75 PH= .297				
KOSTIAKOV	7.958	.384	0	135
KOST.MODIF.	8.905	.317	.081	165
PHILIP	6.383	.500	-.176	112
T4 Y0= 55 W= 1.5 PH= .303				
KOSTIAKOV	.356	.975	0	13
KOST.MODIF.	.698	-.005	.300	11
PHILIP	.386	.500	.266	12
T6 Y0= 65 W= 1.5 PH= .354				
KOSTIAKOV	43.341	.437	0	3876
KOST.MODIF.	50.141	.355	.689	6163
PHILIP	39.357	.500	-.681	2843

- 243 -



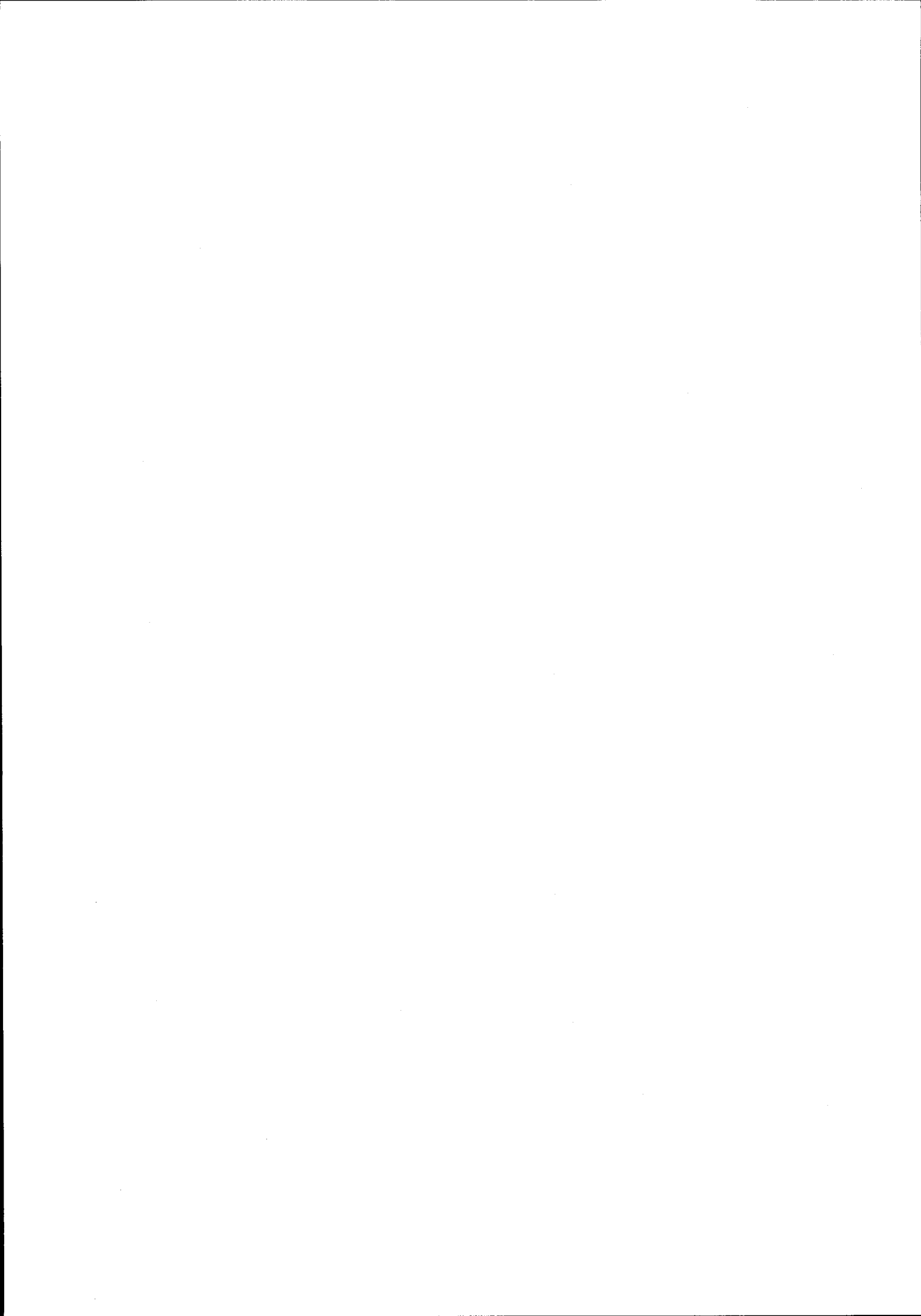
ANEXOS D - ALGUNS DADOS DE CAMPO

D1 - Ensaio de rega feitos em 1984

D2 - Ensaio de rega feitos em 1985

D3 - Ensaio em infiltrômetros de sulco bloqueado, 1985

D4 - Ensaio em infiltrômetros de sulco com retorno, 1985



ANEXO D1

Ensaio de rega feitos em 1984

1000 REM DADOS DE AVANCO E RECESSAO DAS REGAS DE 1984
 1010 REM *** Notar que faltam par metros da geometria ***
 1020 REM
 1030 REM DATA N.rega, dia/mes, Grupo, n.sulco, 00
 1040 REM DATA H0, Tempos de avanço, 0
 1050 REM DATA Hc, Tempos de recessao, 0
 1060 REM
 1070 REM
 1080 REM
 1090 DATA "PR1", "14/AGO", 4, 2, 1.2
 1100 DATA 7.12, 7.21, 7.30, 7.49, 8.15, 9.20, 9.40, 10.53, 0
 1110 DATA 11.15, 11.19, 11.22, 11.26, 11.28, 11.30, 11.31, 11.32, 0
 1120 REM
 1130 DATA "PR2", "14/AGO", 4, 3, 2.0
 1140 DATA 7.12, 7.21, 7.30, 7.47, 8.20, 8.54, 9.50, 10.42, 0
 1150 DATA 11.15, 11.20, 11.23, 11.26, 11.28, 11.30, 11.31, 11.32, 0
 1160 REM
 1170 DATA "PR3", "14/AGO", 4, 4, 1.5
 1180 DATA 7.12, 7.24, 7.39, 8.11, 8.56, 9.33, 10.28, 11.15, 0
 1190 DATA 11.15, 11.21, 11.24, 11.27, 11.29, 11.30, 11.31, 11.32, 0
 1200 REM
 1210 DATA "PR4", "13/AGO", 4, 5, 1.3
 1220 DATA 10.05, 10.26, 10.56, 11.20, 12.10, 13.00, 15.15, 15.50, 16.38, 17.25, 0
 1230 DATA 17.27, 17.43, 17.45, 17.48, 17.50, 17.53, 17.57, 17.59, 18.01, 18.03, 0
 1240 REM
 1250 DATA "PR5", "13/AGO", 4, 6, 1.3
 1260 DATA 10.05, 10.17, 10.29, 10.47, 11.24, 12.12, 13.00, 13.35, 14.05, 14.40, 15.25,
 16.29, 17.15, 0
 1270 DATA 17.27, 17.45, 17.48, 17.50, 17.52, 17.55, 17.59, 18.03, 18.04, 18.05, 18.06,
 18.07, 18.08, 0
 1280 REM
 1290 DATA "PR6", "13/AGO", 4, 7, .75
 1300 DATA 10.05, 10.24, 10.52, 11.40, 12.23, 13.15, 15.19, 15.52, 16.40, 17.25, 0
 1310 DATA 17.27, 17.45, 17.48, 17.50, 17.52, 17.54, 17.59, 18.03, 18.03, 18.03, 0
 1320 REM
 1330 DATA "PR7", "10/AGO", 6, 5, 1.5
 1340 DATA 7.15, 7.16, 7.20, 7.25, 7.30, 7.38, 7.52, 8.03, 8.12, 8.55, 10.01, 11.05, 11.54,
 12.50, 14.55, 0
 1350 DATA 15.25, 15.30, 15.33, 15.35, 15.37, 15.38, 15.39, 15.39, 15.40, 15.40, 15.41,
 15.41, 15.42, 15.43, 15.44, 0
 1360 REM
 1370 DATA "PR9", "10/AGO", 6, 7, 1.2
 1380 DATA 7.15, 7.16, 7.19, 7.23, 7.27, 7.32, 7.48, 8.22, 8.43, 9.16, 10.09, 10.38, 11.04,
 11.37, 12.35, 14.18, 0
 1390 DATA 15.25, 15.30, 15.33, 15.36, 15.38, 15.39, 15.40, 15.40, 15.41, 15.41, 15.42,
 15.42, 15.43, 15.44, 15.45, 15.45, 0
 1400 REM
 1410 DATA "PR10", "8/AGO", 6, 5, 1.0
 1420 DATA 7.53, 8.04, 8.15, 8.31, 8.45, 9.02, 10.19, 11.10, 12.00, 0
 1430 DATA 11.45, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0

ANEXO D1

- 2 -

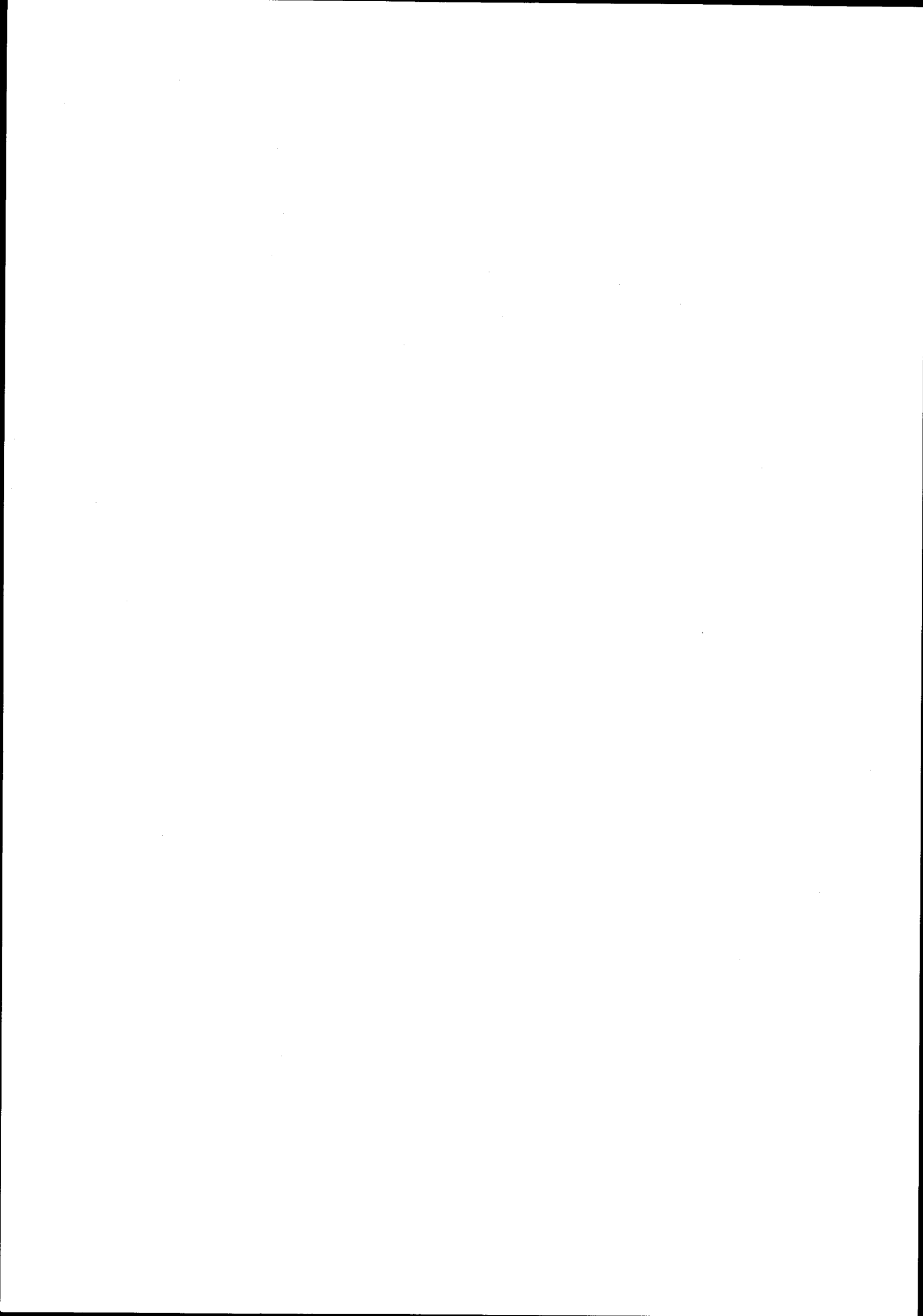
1440 REM
1450 DATA "PR11", "8/AGO", 6, 6, 1.0
1460 DATA 7.53, 8.01, 8.10, 8.26, 8.39, 8.59, 10.20, 10.46, 12.00, 0
1470 DATA 11.45, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0
1480 REM
1490 DATA "PR12", "8/AGO", 6, 7, 1.0
1500 DATA 7.53, 8.00, 8.10, 8.27, 8.39, 8.58, 11.45, 0
1510 DATA 11.45, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0
1520 REM
1530 DATA "PR13", "1/AGO", 6, 2, 1.2
1540 DATA 8.46, 8.50, 8.58, 9.14, 9.38, 9.57, 10.37, 11.25, 0
1550 DATA 11.46, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0
1560 REM
1570 DATA "PR14", "1/AGO", 6, 3, 1.0
1580 DATA 8.46, 8.52, 8.59, 9.16, 9.41, 10.16, 11.06, 11.44, 0
1590 DATA 11.46, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0
1600 REM
1610 DATA "PR15", "1/AGO", 6, 4, 1.6
1620 DATA 8.46, 8.50, 9.00, 9.14, 9.43, 10.07, 10.36, 10.57, 11.27, 0
1630 DATA 11.46, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0
1640 REM
1650 DATA "PR18", "31/JUL", 8, 4, 1.4
1660 DATA 7.51, 7.55, 7.58, 8.01, 8.04, 8.11, 8.55, 9.17, 9.58, 10.32, 11.11, 0
1670 DATA 11.11, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0
1680 REM
1690 DATA "PR19", "30/JUL", 8, 2, .85
1700 DATA 11.50, 11.57, 12.11, 12.24, 12.43, 13.04, 13.35, 14.20, 0
1710 DATA 14.40, 14.43, 14.47, 14.48, 14.49, 14.50, 14.50, 14.50, 0
1720 REM
1730 DATA "PR20", "30/JUL", 8, 3, 1.0
1740 DATA 11.50, 11.59, 12.14, 12.28, 12.49, 13.13, 14.01, 14.35, 0
1750 DATA 14.40, 14.43, 14.47, 14.48, 14.49, 14.50, 14.50, 14.50, 0
1760 REM
1770 DATA "PR21", "30/JUL", 8, 4, .90
1780 DATA 11.50, 11.58, 12.15, 12.37, 13.01, 13.33, 14.40, 0
1790 DATA 14.40, 14.45, 14.49, 14.49, 14.50, 14.50, 14.45, 0
1800 REM
1810 REM ACABARAM OS DATA DE PR COM FALTA DE PR8, PR16 E PR17 QUE PODEM
TIRAR-SE DO 2200 OU DA VS
1820 REM
1830 REM
1840 DATA "SR1", "4/SET", 8, 2, 1.2
1850 DATA 7.40, 7.45, 7.52, 8.07, 8.15, 8.26, 8.40, 8.59, 0
1860 DATA 9.23, 9.26, 9.29, 9.31, 9.34, 9.35, 9.38, 9.41, 0
1870 REM
1880 DATA "SR2", "4/SET", 8, 3, 1.3
1890 DATA 7.40, 7.45, 7.52, 8.07, 8.19, 8.31, 8.48, 9.19, 0
1900 DATA 9.23, 9.26, 9.29, 9.31, 9.35, 9.36, 9.39, 9.40, 0
1910 REM
1920 DATA "SR3", "4/SET", 8, 4, 1.2

- 248 -

ANEXO D1

- 3 -

1930 DATA 7.40,7.46,7.55,8.13,8.25,8.42,9.10,0
1940 DATA 9.24,9.27,9.30,9.32,9.35,9.36,9.39,0
1950 REM
1960 DATA "SR4", "5/SET", 8, 2, 1.2
1970 DATA 7.35,7.39,7.44,7.47,7.52,7.57,8.03,8.15,8.33,9.44,10.25,11.06,11.37,
12.22,13.30,14.45,0
1980 DATA 16.15,16.20,16.22,16.26,16.28,16.35,16.40,16.46,16.49,16.55,17.02,
17.06,17.07,17.07,17.07,17.07,0
1990 REM
2000 DATA "SR5", "5/SET", 8, 3, 1.3
2010 DATA 7.35,7.39,7.43,7.48,7.53,7.58,8.06,8.22,8.58,9.53,10.36,11.19,11.54
,12.40,13.35,14.45,0
2020 DATA 16.15,16.21,16.23,16.26,16.30,16.36,16.41,16.47,16.50,16.56,17.03,
17.07,17.08,17.08,17.08,17.08,0
2030 REM
2040 DATA "SR13", "10/SET", 4, 4, 1.4
2050 DATA 8.01,8.08,8.17,8.37,9.12,10.25,11.43,12.56,14.12,15.38,16.43,0
2060 DATA 16.05,16.13,16.20,16.36,16.46,17.00,17.05,17.07,17.08,17.08,17.08,0
2070 REM
2080 DATA "SR14", "10/SET", 4, 3, 1.4
2090 DATA 8.01,8.06,8.14,8.34,9.06,10.03,10.35,11.20,12.10,13.06,14.30,0
2100 DATA 16.05,16.12,16.20,16.35,16.45,16.59,17.04,17.07,17.08,17.08,17.08,0
2110 REM
2120 DATA "SR15", "10/SET", 4, 2, 1
2130 DATA 8.01,8.07,8.15,8.32,8.52,9.37,10.31,10.55,11.30,12.06,0
2140 DATA 16.05,16.12,16.20,16.35,16.45,16.59,17.04,17.07,17.08,17.08,0
2150 REM
2160 DATA "SR16", "11/SET", 4, 5, 1
2170 DATA 7.20,7.32,7.47,8.00,8.12,8.28,8.42,8.58,9.18,10.34,12.20,15.03,0
2180 DATA 15.45,15.47,15.49,15.51,15.55,15.57,16.01,16.08,16.11,16.12,
16.15,16.18,0
2190 REM
2200 DATA "SR17", "11/SET", 4, 6, 1
2210 DATA 7.20,7.32,7.45,7.55,8.09,8.32,8.55,9.28,10.07,11.08,11.48,14.30,
15.12,0
2220 DATA 15.45,15.47,15.49,15.51,15.55,15.57,16.01,16.08,16.11,16.12,16.15,
16.18,16.20,0
2230 REM
2240 DATA "SR18", "11/SET", 4, 7, 1
2250 DATA 7.20,7.34,7.59,8.50,9.17,10.11,10.52,11.43,12.38,13.40,14.56,15.45,0
2260 DATA 15.45,15.47,15.49,15.51,15.55,15.57,16.01,16.08,16.11,16.12,16.15,
16.18,0



ANEXO D2

Ensaio de rega feitos em 1985

```

1000 REM      ***** REGAS185 *****
1010 REM "Rega e registo", "dia/mês", S0, sulco, Q0, Y0, Q1, Y1, Q2, Y2, V1, V2, V3
1020 REM DATA P0, R0, L0, M0, P1, R1, L1, M1, P2, R2, L2, M2
1030 REM DATA H0, Tempos de avanço, 0
1040 REM DATA Hc, Tempos de recessão, 0
1050 REM
1060 DATA "PR2/.75", "08/JUL", .008, 2, .94, 0, .61, 0, .36, 0, 9200, 2320, 0
1070 DATA 9.481, .598, 5.264, 1.609, 14.109, .424, 7.896, 1.509, 8.566, .669, 4.595, 1.675
1080 DATA 10.44, 10.56, 11.17, 11.44, 12.05, 12.43, 13.10, 13.45, 14.15, 14.43, 15.08,
16.15, 16.45, 0
1090 DATA 16.47, 16.50, 16.56, 16.59, 17.00, 17.10, 17.15, 17.17, 17.20, 17.21, 17.23,
17.23, 17.25, 0
1100 REM
1110 DATA "PR3/.75", "08/JUL", .008, 3, .97, 0, .61, 0, .40, 0, 10400, 2615, 0
1120 DATA 9.481, .598, 5.264, 1.609, 14.109, .424, 7.896, 1.509, 8.566, .669, 4.595, 1.675
1130 DATA 10.44, 10.54, 11.10, 11.27, 11.49, 12.22, 12.56, 13.20, 13.58, 14.18,
14.42, 15.22, 16.25, 0
1140 DATA 16.47, 16.50, 16.55, 16.57, 17.00, 17.10, 17.15, 17.17, 17.20, 17.21,
17.23, 17.23, 17.25, 0
1150 REM
1160 DATA "PR4/.75", "08/JUL", .008, 4, 1.07, 0, .61, 0, .52, 0, 10200, 3700, 0
1170 DATA 17.501, .375, 10.521, 1.451, 13.861, .453, 7.827, 1.531, 10.000, .452,
5.694, 1.461
1180 DATA 10.44, 10.53, 11.12, 11.35, 11.56, 12.30, 13.02, 13.30, 13.51, 14.15, 14.37,
15.32, 16.40, 0
1190 DATA 16.47, 16.50, 16.55, 16.57, 17.00, 17.10, 17.15, 17.17, 17.20, 17.21, 17.23,
17.23, 17.25, 0
1200 REM
1210 DATA "PR6/1.5", "10/JUL", .005, 2, 1.46, 63, 1.1, 38, .36, 0, 15775, 1980, 0
1220 DATA 27.176, .234, 17.654, 1.336, 16.576, .423, 9.820, 1.470, 13.917, .458,
8.010, 1.514
1230 DATA 7.35, 7.38, 7.42, 7.49, 8.01, 8.20, 8.41, 9.22, 10.22, 10.57, 11.05, 0
1240 DATA 12.00, 12.09, 12.11, 12.26, 12.27, 12.30, 12.32, 12.35, 12.38, 12.40, 12.38, 0
1250 REM
1260 DATA "PR7/1.5", "10/JUL", .005, 4, 1.51, 0, 1.0, 0, .10, 0, 15105, 600, 0
1270 DATA 27.176, .234, 17.654, 1.336, 16.576, .423, 9.820, 1.470, 13.917, .458,
8.010, 1.514
1280 DATA 7.35, 7.38, 7.41, 7.47, 7.54, 8.03, 8.18, 8.54, 9.41, 10.38, 10.46, 0
1290 DATA 12.00, 12.09, 12.11, 12.23, 12.28, 12.30, 12.32, 12.35, 12.38, 12.40, 12.17, 0
1300 REM
1310 DATA "PR10/.75", "10/JUL", .005, 7, 0.88, 0, .81, 0, .44, 0, 10100, 1820, 0
1320 DATA 11.780, .560, 6.506, 1.597, 14.399, .464, 8.378, 1.512, 10.251, .630,
5.534, 1.681
1330 DATA 7.35, 7.39, 7.42, 7.50, 7.57, 8.15, 8.37, 9.14, 10.06, 10.39, 10.59, 0
1340 DATA 12.00, 12.07, 12.11, 12.23, 12.28, 12.30, 12.32, 12.35, 12.38, 12.40, 12.48, 0
1350 REM
1360 DATA "PR11/.75", "10/JUL", .005, 8, 0.86, 0, .70, 0, .38, 0, 9840, 2900, 0
1370 DATA 11.780, .560, 6.506, 1.597, 14.399, .464, 8.378, 1.512, 10.251, .630,
5.534, 1.681
1380 DATA 7.35, 7.39, 7.42, 7.46, 7.54, 8.01, 8.20, 8.40, 8.59, 9.53, 10.20, 0

```

ANEXO D2

- 2 -

1390 DATA 7.35,7.39,7.42,7.46,7.54,8.01,8.20,8.40,8.59,9.53,10.20,0
 1400 DATA 12.00,12.07,12.11,12.23,12.28,12.30,12.32,12.35,12.38,12.40,12.45,0
 1410 REM
 1420 DATA "PR19/.75", "12/JUL", .002,2,2.10,0,1.70,0,1.6,0,14800,8500,0
 1430 DATA 12.250,.501,7.092,1.529,11.875,.574,6.433,1.640,6.585,.707,
 3.491,1.674
 1440 DATA 8.31,8.37,8.51,9.06,9.23,9.39,10.00,10.22,10.43,10.56,11.15,11.38,0
 1450 DATA 12.20,12.43,12.43,12.56,12.56,13.03,13.10,13.17,13.18,13.15,
 13.40,13.30,0
 1460 REM
 1470 DATA "PR20/.75", "12/JUL", .002,3,2.20,31,1.55,27,.6,0,13700,2600,0
 1480 DATA 12.250,.501,7.092,1.529,11.875,.574,6.433,1.640,6.585,.707,
 3.491,1.674
 1490 DATA 8.31,8.36,8.45,9.00,9.14,9.26,9.46,10.05,10.26,10.47,11.11,11.40,0
 1500 DATA 12.20,12.43,12.43,12.56,12.56,13.05,13.11,13.17,13.18,13.15,13.29,
 13.20,0
 1510 REM
 1520 DATA "SR2/.75", "6/AGD", .008,2,1.09,70,1.05,37,0.9,60,18120,13580,1950
 1530 DATA 9.975,.637,5.365,1.671,11.203,.586,5.918,1.681,8.304,.694,4.384,1.709
 1540 DATA 7.46,7.53,8.06,8.27,8.47,9.09,9.26,10.00,10.33,10.55,11.11,11.24,
 11.46,12.46,13.33,14.00,0
 1550 DATA 15.16,15.23,15.28,15.32,15.38,15.43,15.46,15.50,15.52,15.54,16.02,
 16.07,16.10,16.12,16.16,16.17,0
 1560 REM
 1570 DATA "SR3/.75", "6/AGD", .008,3,1.11,0,0.8,0,.75,0,17390,10860,3120
 1580 DATA 9.975,.637,5.365,1.671,11.203,.586,5.918,1.681,8.304,.694,4.384,1.709
 1590 DATA 7.46,7.53,8.01,8.13,8.35,8.57,9.17,9.56,10.30,10.50,11.09,11.27,11.59,
 12.43,13.17,13.57,0
 1600 DATA 15.16,15.23,15.28,15.32,15.38,15.43,15.46,15.50,15.52,15.54,16.02,
 16.07,16.10,16.12,16.16,16.17,0
 1610 REM
 1620 DATA "SR7/1.5", "7/AGD", .005,2,1.30,38,0.7,30,.45,32,7600,2500,0
 1630 DATA 21.137,.426,11.715,1.589,14.607,.465,8.403,1.531,17.655,.364,
 10.872,1.417
 1640 DATA 8.47,8.54,9.04,9.36,10.06,10.42,11.07,11.41,12.15,12.30,12.45,0
 1650 DATA 14.09,14.18,14.20,14.38,14.40,14.47,14.49,14.50,14.53,14.54,14.54,0
 1660 REM
 1670 DATA "SR8/1.5", "7/AGD", .005,4,1.53,0,.93,0,.15,0,12300,2500,0
 1680 DATA 21.137,.426,11.715,1.589,14.607,.465,8.403,1.531,17.655,.364,
 10.872,1.417
 1690 DATA 8.47,8.52,8.58,9.14,9.32,9.53,10.23,11.08,11.34,12.02,12.50,0
 1700 DATA 14.09,14.16,14.20,14.25,14.38,14.44,14.47,14.50,14.52,14.54,14.54,0
 1710 REM
 1720 DATA "SR11/.75", "7/AGD", .005,7,1.04,36,1.0,41,.8,34,11800,5500,0
 1730 DATA 15.642,.429,9.561,1.447,13.215,.507,7.546,1.55,13.971,.573,7.365,1.684
 1740 DATA 8.47,8.54,9.03,9.30,10.00,10.19,10.45,11.06,11.32,11.55,12.24,0
 1750 DATA 14.09,14.16,14.20,14.30,14.38,14.43,14.47,14.50,14.56,14.58,15.05,0
 1760 REM
 1770 DATA "SR12/.75", "7/AGD", .005,8,1.09,0,.65,0,.4,0,7800,4260,0
 1780 DATA 15.642,.429,9.561,1.447,13.215,.507,7.546,1.55,13.971,.573,7.365,1.684
 1790 DATA 8.47,8.55,9.04,9.22,9.44,10.10,10.39,11.05,11.34,12.00,12.30,0

- 252 -

ANEXO D2.3

- 3 -

1800 DATA 14.09, 14.15, 14.20, 14.23, 14.32, 14.43, 14.48, 14.50, 14.55, 14.58, 15.05, 0
 1810 REM
 1820 DATA "SR13/1.5", "8/AGD", .005, 2, 1.11, 64, .70, 32, 0, 0, 10900, 0, 0
 1830 DATA 14.469, .404, 8.654, 1.424, 6.686, .823, 3.464, 1.764, 9.602, .578, 5.388, 1.575
 1840 DATA 8.39, 8.46, 8.57, 9.26, 10.23, 11.07, 11.41, 12.20, 13.20, 13.35, 13.57, 0
 1850 DATA 16.38, 16.48, 16.52, 16.58, 17.02, 17.06, 17.13, 17.16, 17.17, 17.18, 0
 1860 REM
 1870 DATA "SR14/1.5", "8/AGD", .005, 4, 1.04, 0, .61, 0, .18, 0, 10400, 400, 0
 1880 DATA 14.469, .404, 8.654, 1.424, 6.686, .823, 3.464, 1.764, 9.602, .578, 5.388, 1.575
 1890 DATA 8.39, 8.47, 9.00, 9.25, 9.53, 10.36, 11.39, 12.21, 13.22, 14.17, 14.39, 0
 1900 DATA 16.38, 16.46, 16.51, 17.00, 17.03, 17.06, 17.13, 17.16, 17.17, 17.18, 0
 1910 REM
 1920 DATA "SR17/.75", "8/AGD", .005, 7, 1.31, 92, 1.17, 69, 1.0, 0, 27000, 9600, 0
 1930 DATA 12.510, .535, 7.010, 1.583, 15.137, .436, 9.147, 1.461, 14.309, .343, 8.839,
 1.369
 1940 DATA 8.39, 8.46, 8.55, 9.09, 9.26, 9.42, 10.24, 10.43, 11.01, 11.52, 12.14, 0
 1950 DATA 16.38, 16.48, 16.55, 16.59, 17.07, 17.10, 17.15, 17.16, 17.25, 17.33, 17.37, 0
 1960 REM
 1970 DATA "SR18/.75", "8/AGD", .005, 8, 1.35, 0, 1.10, 0, 0.8, 0, 22400, 9700, 0
 1980 DATA 12.510, .535, 7.010, 1.583, 15.137, .436, 9.147, 1.461, 14.309, .343, 8.839,
 1.369
 1990 DATA 8.39, 8.48, 9.01, 9.13, 9.26, 9.42, 10.27, 10.42, 11.06, 11.37, 11.59, 0
 2000 DATA 16.38, 16.50, 16.55, 16.59, 17.04, 17.10, 17.15, 17.16, 17.25, 17.33, 17.39, 0
 2010 REM
 2020 DATA "SR20/.75", "9/AGD", .002, 2, 1.47, 0, 1.40, 0, 0.5, 0, 10800, 2000, 0
 2030 DATA 9.354, .709, 4.907, 1.737, 13.689, .520, 7.721, 1.583, 9.872, .583, 5.467, 1.605
 2040 DATA 8.05, 8.11, 8.17, 8.26, 8.36, 8.49, 9.40, 10.00, 10.33, 10.57, 11.38, 0
 2050 DATA 12.31, 12.50, 12.53, 12.59, 13.02, 13.13, 13.19, 13.25, 13.29, 13.34, 13.39, 0
 2060 REM
 2070 DATA "SR21/.75", "9/AGD", .002, 3, 1.54, 0, 1.40, 0, 0.3, 0, 9600, 1250, 0
 2080 DATA 9.354, .709, 4.907, 1.737, 13.689, .520, 7.721, 1.583, 9.872, .583, 5.467, 1.605
 2090 DATA 8.05, 8.10, 8.17, 8.26, 8.35, 8.54, 9.41, 10.00, 10.30, 10.58, 11.33, 0
 2100 DATA 12.31, 12.50, 12.53, 12.56, 13.01, 13.13, 13.19, 13.25, 13.29, 13.32, 13.34, 0
 2110 REM
 2120 DATA "TR2/.75", "30/AGD", .008, 2, 1.11, 58, 1.05, 76, 1.05, 71, 19250, 13980, 1690
 2130 DATA 13.918, .497, 8.095, 1.545, 11.226, .562, 5.978, 1.639, 9.450, .685, 5.052, 1.709
 2140 DATA 7.56, 8.05, 8.20, 8.39, 9.01, 9.30, 10.04, 10.32, 11.05, 11.22, 11.39, 11.56,
 12.21, 12.50, 13.26, 13.52, 0
 2150 DATA 15.06, 15.16, 15.20, 15.26, 15.37, 15.44, 15.50, 15.55, 15.58, 16.01, 16.16,
 16.22, 16.22, 16.24, 16.26, 16.28, 0
 2160 REM
 2170 DATA "TR3/.75", "30/AGD", .008, 3, 1.07, 00, .7, 0, .44, 0, 13470, 5080, 4300
 2180 DATA 13.918, .497, 8.095, 1.545, 11.226, .562, 5.978, 1.639, 9.450, .685, 5.052, 1.709
 2190 DATA 7.56, 8.03, 8.16, 8.33, 8.57, 9.27, 10.09, 10.34, 11.08, 11.31, 11.49, 12.20,
 12.54, 13.28, 13.58, 14.03, 0
 2200 DATA 15.06, 15.16, 15.20, 15.26, 15.37, 15.44, 15.50, 15.55, 15.58, 16.01, 16.08,
 16.20, 16.22, 16.24, 16.26, 16.28, 0
 2210 REM
 2220 DATA "TR7/1.5", "29/AGD", .005, 2, 1.45, 48, 1.4, 50, .3, 18, 11170, 1200, 0
 2230 DATA 19.195, .464, 11.045, 1.592, 12.465, .557, 6.930, 1.617, 19.772, .304,
 12.720, 1.350
 2240 DATA 7.42, 7.49, 8.02, 8.37, 9.17, 9.28, 10.05, 10.29, 10.44, 10.59, 11.12, 0

ANEXO D2

- 4 -

2250 DATA 12.16, 12.27, 12.32, 12.40, 12.50, 12.55, 13.00, 13.02, 13.05, 13.07, 13.08, 0
2260 REM
2270 DATA "TR11/.75", "29/AG0", .005, 7, 0.98, 52, .9, 56, .7, 30, 0, 1150, 0
2280 DATA 14.216, .473, 8.421, 1.499, 16.927, .400, 10.286, 1.440, 23.124, .307,
14.483, 1.392
2290 DATA 7.42, 7.49, 8.03, 8.31, 9.12, 9.28, 9.55, 10.16, 10.37, 11.00, 11.18, 0
2300 DATA 12.16, 12.27, 12.32, 12.40, 12.49, 12.52, 12.56, 13.01, 13.05, 13.08, 13.20, 0
2310 REM
2320 DATA "TR12/.75", "29/AG0", .005, 8, 1.03, 00, .5, 00, .2, 00, 5490, 440, 0
2330 DATA 14.216, .473, 8.421, 1.499, 16.927, .400, 10.286, 1.440, 23.124, .307,
14.483, 1.392
2340 DATA 7.42, 7.51, 8.04, 8.31, 8.56, 9.28, 9.57, 10.30, 11.02, 11.40, 12.04, 0
2350 DATA 12.16, 12.27, 12.32, 12.37, 12.42, 12.50, 12.56, 13.00, 13.02, 13.05, 13.16, 0
2360 REM
2370 DATA "TR13/1.5", "28/AG0", .005, 2, 1.16, 81, .6, 27, .3, 68, 7930, 1100, 0
2380 DATA 14.872, .414, 9.074, 1.439, 7.497, .750, 3.931, 1.713, 11.248, .540, 6.479, 1.545
2390 DATA 9.30, 9.38, 9.53, 10.24, 11.00, 11.21, 12.06, 12.44, 13.14, 14.14, 14.50, 0
2400 DATA 15.15, 15.24, 15.29, 15.37, 15.44, 15.50, 15.53, 15.56, 15.58, 16.00, 16.02, 0
2410 REM
2420 DATA "TR14/1.5", "28/AG0", .005, 4, 1.03, 0, .4, 0, .1, 0, 5640, 400, 0
2430 DATA 14.872, .414, 9.074, 1.439, 7.497, .750, 3.931, 1.713, 11.248, .540, 6.479, 1.545
2440 DATA 9.30, 9.40, 9.56, 10.24, 10.42, 11.12, 12.13, 12.50, 13.27, 14.09, 14.50, 0
2450 DATA 15.15, 15.24, 15.29, 15.42, 15.46, 15.50, 15.53, 15.58, 15.59, 16.00, 16.02, 0
2460 REM
2470 DATA "TR17/.75", "28/AG0", .005, 7, 1.54, 90, 1.4, 127, 1, 13, 18630, 6730, 0
2480 DATA 12.341, .545, 6.908, 1.596, 13.851, .476, 8.217, 1.502, 11.289, .475,
6.441, 1.518
2490 DATA 9.30, 9.37, 9.48, 10.05, 10.24, 10.40, 11.00, 11.17, 11.39, 12.11, 13.02, 0
2500 DATA 15.15, 15.26, 15.33, 15.40, 15.50, 15.58, 16.02, 16.06, 16.08, 16.09, 16.15, 0
2510 REM
2520 DATA "TR18/.75", "28/AG0", .005, 8, 1.54, 0, 0.8, 0, .7, 0, 12820, 7500, 0
2530 DATA 12.341, .545, 6.908, 1.596, 13.851, .476, 8.217, 1.502, 11.289, .475,
6.441, 1.518
2540 DATA 9.30, 9.37, 9.48, 10.03, 10.18, 10.35, 11.09, 11.26, 11.46, 12.21, 13.11, 0
2550 DATA 15.15, 15.26, 15.36, 15.45, 15.52, 15.58, 16.03, 16.08, 16.09, 16.10, 16.16, 0
2560 REM
2570 DATA "TR20/.75", "27/AG0", .002, 2, 2.00, 0, 1.2, 0, .40, 0, 10600, 2200, 0
2580 DATA 13.125, .524, 7.204, 1.575, 13.522, .491, 7.926, 1.524, 9.407, .581, 5.274, 1.581
2590 DATA 8.20, 8.25, 8.34, 8.46, 8.59, 9.13, 9.33, 9.55, 10.18, 10.40, 11.04, 0
2600 DATA 12.05, 12.20, 12.27, 12.31, 12.34, 12.50, 12.57, 13.03, 13.08, 13.12, 13.17, 0
2610 REM
2620 DATA "TR21/.75", "27/AG0", .002, 3, 2.28, 76, 1.8, 76, .58, 98, 12800, 3820, 0
2630 DATA 13.125, .524, 7.204, 1.575, 13.522, .491, 7.926, 1.524, 9.407, .581, 5.274, 1.581
2640 DATA 8.20, 8.25, 8.34, 8.45, 8.58, 9.12, 9.30, 9.49, 10.09, 10.28, 10.58, 0
2650 DATA 12.05, 12.20, 12.27, 12.32, 12.35, 12.50, 12.57, 13.03, 13.08, 13.12, 13.20, 0
2660 REM
2670 DATA "QR2/.75", "16/SET", .008, 2, 1.07, 74, .9, 77, .8, 66, 14390, 9310, 2120
2680 DATA 13.060, .543, 7.355, 1.598, 13.676, .449, 7.992, 1.498, 8.912, .658, 4.831, 1.651
2690 DATA 8.41, 8.47, 9.02, 9.20, 9.41, 10.08, 10.34, 11.06, 11.30, 11.47, 12.04, 12.29,
13.01, 13.36, 14.11, 14.30, 0

- 254 -

ANEXO D2

- 5 -

2700 DATA 15.08, 15.16, 15.21, 15.28, 15.34, 15.48, 15.57, 16.02, 16.06, 16.12, 16.18,
16.22, 16.23, 16.24, 16.27, 16.29, 0

2710 REM

2720 DATA "QR3/.75", "16/SET", .008, 3, 1.03, 0, .5, 0, .3, 0, 9290, 3500, 1200

2730 DATA 13.060, .543, 7.355, 1.598, 13.676, .449, 7.992, 1.498, 8.912, .658, 4.831, 1.651

2740 DATA 8.41, 8.49, 9.00, 9.17, 9.37, 10.08, 10.44, 11.15, 11.50, 12.05, 12.30, 12.58,
13.35, 13.58, 14.16, 14.45, 0

2750 DATA 15.08, 15.16, 15.21, 15.27, 15.34, 15.46, 15.52, 15.57, 16.04, 16.08, 16.14,
16.18, 16.20, 16.21, 16.25, 16.29, 0

2760 REM

2770 DATA "BR17/.75", "23/SET", .005, 7, 1.58, 112, 1.3, 92, .7, 18, 23570, 10960, 0

2780 DATA 11.453, .565, 6.401, 1.603, 12.835, .539, 7.331, 1.569, 12.584, .390,
7.557, 1.417

2790 DATA 8.33, 8.43, 8.59, 9.20, 9.37, 9.55, 10.15, 10.37, 11.06, 11.36, 12.15, 0

2800 DATA 15.08, 15.21, 15.30, 15.37, 15.45, 15.51, 15.55, 15.58, 16.00, 16.02, 16.14, 0

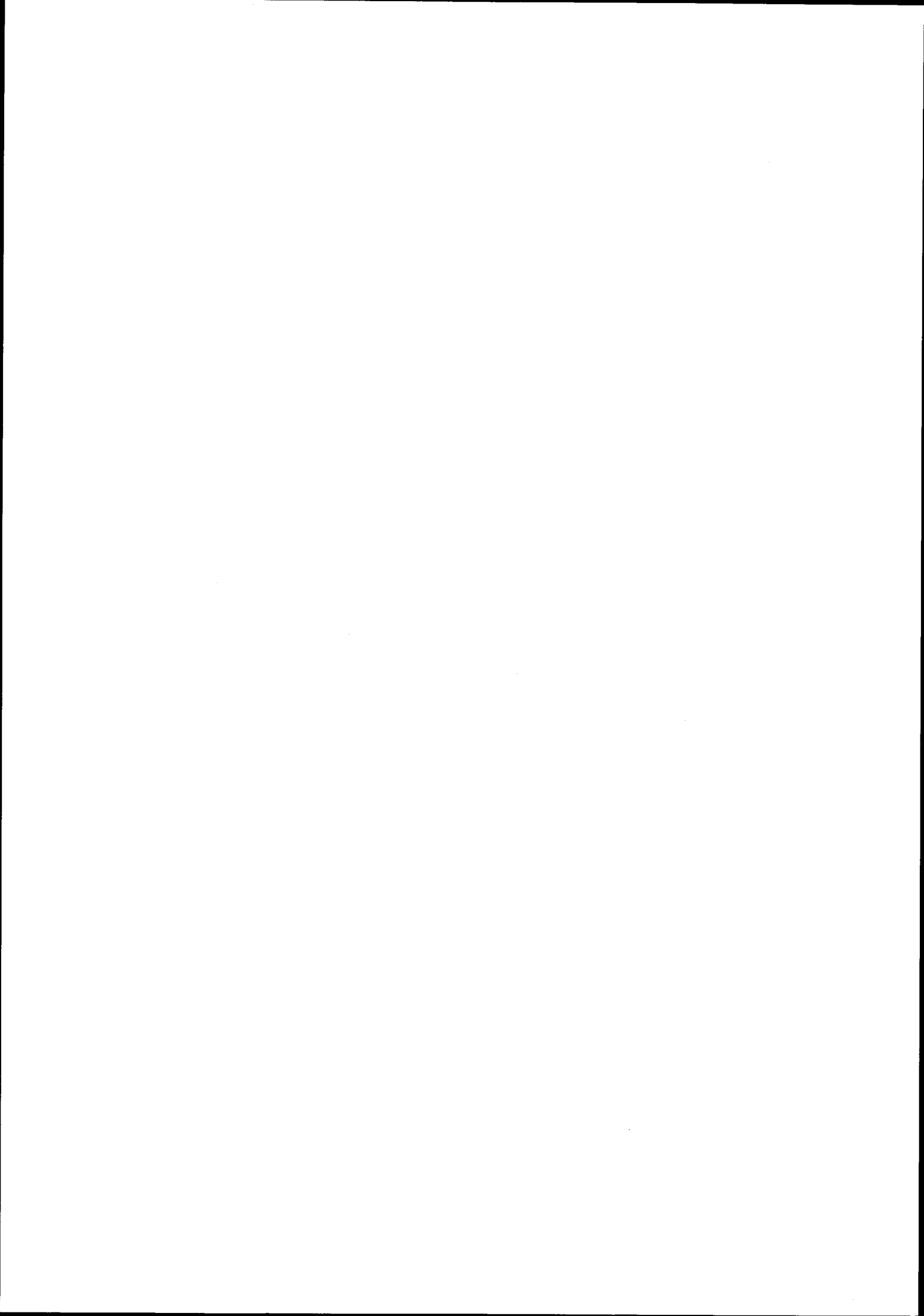
2810 REM

2820 DATA "QR21/.75", "20/SET", .002, 3, 2.23, 80, 1.80, .7, 82, 13300, 3420, 0

2830 DATA 12.196, .571, 6.612, 1.627, 13.552, .512, 7.754, 1.553, 9.459, .594, 5.209, 1.612

2840 DATA 8.19, 8.23, 8.32, 8.43, 8.58, 9.17, 9.46, 10.15, 10.45, 11.10, 11.48, 0

2850 DATA 12.24, 12.39, 12.52, 13.01, 13.05, 13.13, 13.18, 13.23, 13.27, 13.30, 13.37, 0



ANEXO D3

Ensaio em infiltrômetro de sulco bloqueado; 1985

TESTE NUM.

DIA, ANO, REGA/SULCO, YD(mm), W(m)

GEOMETRIA DA SEC.TRANSV.: P, R, L, M

PARES : TEMPOS(min), VOLUME INFILTRADO (l)

31.07 , 1985 , 1 / 2 , 35 , .75
 11.38 , .545 , 7.52 , 1.53
 5, 13 10, 21 13, 25 15, 27 20, 32 25, 36
 30, 39 35, 43 40, 47 45, 49 47, 50 53, 51
 58, 53 63, 55 58, 56 73, 57 78, 58 83, 59
 93, 60 93, 61 98, 61 0, 0

2.08 , 1985 , 1 / 2 , 46 , 1.5
 11.38 , .545 , 7.52 , 1.53
 5, 10 10, 19 15, 21 20, 25 25, 28 30, 33
 35, 35 40, 37 45, 40 55, 44 70, 49 80, 53
 90, 56 100, 59 110, 62 120, 65 128, 67 140, 59
 150, 72 160, 74 170, 76 180, 79 190, 81 0, 0

13.03 , 1985 , 1 / 2 , 30 , .75
 11.38 , .545 , 7.52 , 1.53
 2, 4 7, 16 11, 25 17, 36 22, 41 27, 46
 32, 50 33, 51 39, 55 44, 59 49, 62 54, 64
 59, 66 64, 68 74, 70 84, 71 89, 73 101, 73
 111, 73 121, 74 131, 74 141, 74 161, 74 186, 74
 225, 74 0, 0

14.08 , 1985 , 1 / 2 , 53 , 1.5
 11.38 , .545 , 7.52 , 1.53
 5, 9 9, 15 14, 21 19, 26 22, 28 29, 37
 35, 42 39, 44 44, 48 46, 50 49, 52 54, 54
 59, 57 64, 59 69, 62 74, 64 79, 67 84, 70
 89, 71 91, 72 94, 75 99, 78 104, 81 109, 84
 119, 90 125, 92 129, 93 139, 95 149, 99 159, 102
 169, 105 179, 108 189, 112 0, 0

21.08 , 1985 , 1 / 2 , 75 , .75
 11.38 , .545 , 7.52 , 1.53
 4, 16 5, 20 7, 22 13, 34 16, 37 20, 45
 26, 57 31, 63 35, 68 41, 75 46, 80 51, 84
 56, 88 61, 83 66, 90 68, 91 71, 92 76, 94
 81, 95 86, 97 91, 98 96, 99 106, 101 116, 104
 126, 106 136, 108 141, 109 146, 110 156, 111 166, 113
 176, 114 186, 116 196, 117 206, 120 216, 121 226, 123
 236, 127 246, 131 0, 0

22.08 , 1985 , 1 / 2 , 73 , 1.5
 11.38 , .545 , 7.52 , 1.53
 2, 5 4, 12 6, 18 7, 22 10, 28 15, 34
 19, 42 20, 44 24, 51 27, 55 32, 62 35, 66
 42, 74 47, 80 52, 84 57, 90 62, 93 67, 97
 72, 101 77, 105 82, 108 85, 110 92, 115 102, 120
 112, 127 122, 132 126, 133 132, 136 142, 140 152, 145
 162, 149 172, 153 182, 156 0, 0

ANEXO D3

- 2 -

23.08 , 1985 , 1 / 2 , 79 , .75

11.33 , .545 , 7.52 , 1.53

2, 6	4, 10	8, 18	10, 22	15, 28	17, 30
22, 36	26, 37	31, 41	36, 43	41, 47	46, 49
51, 51	56, 51	61, 52	66, 56	75, 57	81, 58
96, 59	91, 60	101, 62	111, 62	121, 64	131, 65
141, 66	151, 67	161, 71	171, 75	181, 78	191, 81
201, 83	211, 85	221, 87	231, 89	241, 90	0, 0

3.09 , 1985 , 0 / 19 , 40 , .75

10.6 , .581 , 7.05 , 1.57

4, 2	7, 7	10, 9	16, 16	19, 19	22, 22
29, 33	39, 36	44, 40	49, 42	51, 43	54, 44
59, 47	54, 49	59, 51	74, 52	79, 55	34, 56
89, 58	94, 56	99, 60	104, 62	109, 66	114, 69
119, 72	149, 73	159, 75	169, 76	179, 78	189, 79
199, 81	0, 0				

4.09 , 1985 , 0 / 19 , 49 , 1.5

10.6 , .581 , 7.05 , 1.57

2, 3	4, 6	7, 9	9, 10	12, 11	15, 13
17, 14	22, 16	27, 20	34, 22	42, 26	47, 26
52, 27	59, 30	62, 33	67, 34	72, 37	77, 38
32, 40	37, 42	42, 44	47, 45	102, 47	107, 49
112, 50	117, 52	121, 52	127, 54	137, 56	147, 59
157, 62	167, 65	177, 68	0, 0		

5.09 , 1985 , 0 / 19 , 63 , .75

10.6 , .581 , 7.05 , 1.57

3, 2	6, 4	9, 14	13, 17	17, 21	21, 25
23, 26	28, 30	33, 34	38, 36	43, 38	48, 40
50, 41	53, 42	58, 43	63, 44	68, 46	73, 47
78, 49	83, 50	88, 51	93, 53	98, 54	103, 55
108, 55	113, 56	118, 57	128, 58	138, 59	158, 60
168, 61	173, 61	183, 62	0, 0		

6.09 , 1985 , 0 / 19 , 60 , 1.5

10.6 , .581 , 7.05 , 1.57

2, 10	4, 19	11, 27	14, 35	16, 36	21, 43
26, 47	31, 53	35, 56	41, 59	46, 63	51, 67
56, 68	61, 71	66, 74	68, 75	71, 77	76, 79
91, 81	86, 84	91, 86	96, 87	101, 90	106, 92
116, 95	119, 97	126, 99	136, 103	146, 106	156, 110
166, 113	176, 115	0, 0			

9.09 , 1985 , 0 / 19 , 71 , .75

10.6 , .581 , 7.05 , 1.57

2, 1	4, 4	9, 12	14, 15	16, 15	19, 17
24, 23	29, 27	34, 29	36, 30	39, 31	44, 33
49, 35	54, 37	59, 39	64, 40	69, 41	74, 42
79, 43	84, 43	89, 45	94, 45	104, 46	114, 46
124, 47	134, 48	144, 49	154, 49	164, 50	174, 51
184, 52	0, 0				

ANEXO D3

- 3 -

10.09 , 1935 , 0 / 19 , 69 , 1.5											
10.6 , .581 , 7.05 , 1.57											
2, 2	4, 5	7, 9	9, 11	12, 14	14, 18						
15, 22	19, 25	24, 33	29, 43	31, 47	34, 52						
39, 57	44, 64	49, 68	54, 78	59, 82	64, 87						
74, 89	79, 92	84, 95	89, 99	94, 101	99, 103						
104, 107	109, 109	112, 111	119, 113	129, 118	139, 121						
149, 126	159, 127	169, 129	0, 0								
11.09 , 1935 , 0 / 19 , 80 , .75											
10.6 , .581 , 7.05 , 1.57											
1, 5	3, 9	5, 14	8, 16	10, 18	13, 20						
19, 26	23, 30	33, 30	38, 36	41, 36	48, 37						
53, 39	58, 39	63, 40	68, 41	73, 41	78, 42						
83, 42	93, 43	103, 44	113, 44	123, 45	133, 46						
143, 47	153, 47	163, 49	173, 49	0, 0							
24.09 , 1935 , 3 / 2 , 53 , .75											
11.34 , .558 , 7.09 , 1.56											
3, 1	5, 5	9, 7	13, 8	17, 11	20, 11						
25, 11	30, 12	40, 14	50, 15	60, 15	65, 16						
75, 17	115, 17	125, 18	155, 18	165, 19	175, 20						
135, 21	195, 22	205, 23	215, 24	0, 0							
25.09 , 1935 , 3 / 2 , 61 , .75											
11.34 , .558 , 7.09 , 1.56											
2, 4	4, 7	6, 9	8, 11	12, 15	22, 19						
27, 21	32, 22	37, 23	42, 24	47, 25	52, 26						
57, 27	67, 27	87, 28	97, 28	107, 29	117, 29						
125, 30	137, 30	147, 30	0, 0								
26.09 , 1935 , 3 / 2 , 70 , .75											
11.34 , .558 , 7.09 , 1.56											
2, 11	5, 13	7, 18	10, 21	17, 25	22, 27						
27, 31	32, 33	37, 36	42, 39	47, 39	52, 40						
57, 41	62, 42	67, 43	82, 45	92, 45	102, 46						
112, 47	122, 47	0, 0									
26.09 , 1935 , 3 / 2 , 82 , .75											
11.34 , .558 , 7.09 , 1.56											
2, 1	4, 2	7, 6	12, 9	17, 13	32, 13						
37, 16	52, 19	57, 20	67, 20	87, 20	97, 21						
107, 21	117, 22	0, 0									

ANEXO D3

- 4 -

29.09 , 1985 , 3 / 2 , 49 , 1.5

11.34 , .558 , 7.09 , 1.56

3, 11	7, 19	8, 20	14, 28	19, 33	23, 36
25, 38	28, 40	33, 43	38, 47	43, 49	48, 52
53, 55	58, 57	63, 60	68, 62	73, 64	78, 66
33, 67	38, 70	43, 71	48, 72	53, 74	58, 75
113, 73	123, 82	133, 84	0, 0		

30.09 , 1985 , 3 / 2 , 60 , 1.5

11.34 , .558 , 7.09 , 1.56

2, 3	4, 9	6, 13	11, 20	15, 24	21, 27
25, 34	31, 37	37, 41	41, 44	46, 47	51, 50
56, 52	61, 56	66, 57	71, 60	76, 61	78, 63
31, 64	36, 65	41, 69	46, 70	51, 72	56, 73
111, 74	115, 76	121, 78	131, 80	141, 83	151, 86
161, 89	0, 0				

1.10, 1985 , 3 / 2 , 68 , 1.5

11.34 , .558 , 7.09 , 1.56

2, 2	6, 4	8, 7	11, 10	14, 12	16, 15
19, 17	21, 18	23, 20	26, 23	31, 26	36, 30
41, 37	46, 41	51, 44	56, 47	61, 50	66, 53
71, 56	76, 58	81, 60	86, 62	91, 65	96, 66
101, 69	106, 70	111, 73	116, 75	121, 77	131, 80
141, 83	151, 86	0, 0			

ANEXO D4

Ensaio em infiltrômetro de sulco com retorno; 1985

1000 REM
 1010 DATA "P1", "01/AG0", 131,2,50,1.0,.75,16.566,.425
 1020 DATA 7.32,49,7.35,628,7.37,675,7.38,82,7.50,190,8.15,257,8.30,260
 1030 DATA 8.50,269,9.00,290,9.10,330,9.40,354,9.50,366,10.00,368
 1040 DATA 10.10,379,10.20,390,0,0
 1050 REM
 1060 DATA "P2", "05/AG0", 132,2,60,1.0,1.5,8.991,.568
 1070 DATA 10.01,39,10.03,323,10.05,444,10.10,678,10.11,720,10.14,45,10.19,330
 1080 DATA 10.24,378,10.29,488,10.31,522,10.35,588,10.41,685,10.43,12,10.48,205
 1090 DATA 10.50,214,10.55,346,11.00,372,11.05,448,11.10,499,11.15,590,11.20,649
 1100 DATA 11.22,27,11.25,219,11.30,220,11.32,269,11.35,314,11.40,338,11.45,388
 1110 DATA 11.50,410,11.55,464,12.00,473,12.05,563,12.10,573,12.14,594,12.17,180
 1120 DATA 12.20,290,12.25,381,12.30,365,12.35,430,12.40,483,12.45,508,12.50,525
 1130 DATA 12.55,554,13.00,578,13.05,623,0,0
 1140 REM
 1150 DATA "P3", "12/AG0", 133,2,70,1.5,.75,9.639,.574
 1160 DATA 9.08,40,9.09,490,9.12,580,9.15,700,9.16,20,9.25,320,9.30,405,9.35,445
 1170 DATA 9.40,498,9.47,575,9.50,590,9.55,610,9.59,624,10.00,85,10.22,330
 1180 DATA 10.25,342,10.32,351,10.40,378,10.53,420,11.00,426,11.05,427,11.10,435
 1190 DATA 11.25,462,11.35,480,11.45,500,11.55,517,12.00,523,12.10,542
 1200 DATA 12.20,556,0,0
 1210 REM
 1220 DATA "P4", "19/AG0", 134,2,77,1.5,1.5,9.840,.576
 1230 DATA 8.55,37,9.00,472,9.06,588,9.08,88,9.11,365,9.16,441,9.22,545,9.25,580
 1240 DATA 9.26,95,9.35,375,9.40,420,9.45,487,9.55,690,9.56,50,10.00,198
 1250 DATA 10.10,276,10.20,370,10.30,459,10.40,537,10.50,645,10.51,652,10.52,30
 1260 DATA 11.00,166,11.10,248,11.20,329,11.30,387,11.45,489,11.52,498,0,0
 1270 REM
 1280 DATA "P5", "21/AG0", 135,2,83,2.0,.75,12.786,.499
 1290 DATA 10.19,83,10.21,183,10.25,252,10.30,298,10.35,314,10.40,330,10.48,335
 1300 DATA 10.53,372,11.05,375,11.10,390,11.20,460,11.30,480,11.40,498
 1310 DATA 11.50,514,12.00,549,12.10,573,12.20,584,12.21,52,12.30,82,12.40,87
 1320 DATA 12.50,100,13.00,120,13.10,146,0,0
 1330 REM
 1340 DATA "P6", "22/AG0", 136,2,54,2.0,1.5,10.516,.585
 1350 DATA 9.58,90,10.00,155,10.06,475,10.10,605,10.11,104,10.20,480,10.24,670
 1360 DATA 10.25,80,10.30,315,10.35,411,10.40,505,10.45,590,10.47,605,10.48,120
 1370 DATA 10.50,260,10.55,324,11.00,397,11.10,520,11.13,564,11.14,70,11.20,185
 1380 DATA 11.30,300,11.40,433,11.50,528,11.53,555,11.54,80,12.03,245,12.10,330
 1390 DATA 12.20,379,12.30,440,12.40,496,12.50,544,13.00,602,0,0
 1400 REM
 1410 DATA "P7", "23/AG0", 137,2,62,0.5,.75,13.743,.465
 1420 DATA 10.05,40,10.08,309,10.13,458,10.15,520,10.20,585,10.21,63,10.25,273
 1430 DATA 10.30,290,10.35,303,10.40,337,10.45,457,10.50,482,10.55,527,11.00,550
 1440 DATA 11.05,574,11.06,57,11.10,204,11.15,230,11.20,265,11.25,285,11.30,308
 1450 DATA 11.35,329,11.40,348,11.45,369,11.50,385,11.55,402,12.00,421,12.05,439
 1460 DATA 12.10,456,12.15,471,12.20,510,12.22,517,12.23,85,12.30,133,12.35,148
 1470 DATA 12.40,159,12.50,186,13.00,210,0,0
 1480 REM
 1490 DATA "PB", "13/SET", 138,2,70,2.0,1.5,8.946,.669

ANEXO D4

- 2 -

1500 DATA 9.54,50,9.57,275,10.00,525,10.05,680,10.06,50,10.10,280,10.15,525
1510 DATA 10.20,720,10.22,750,10.24,75,10.25,135,10.33,310,10.35,320,10.40,520
1520 DATA 10.45,600,10.48,625,10.50,100,10.55,130,11.00,200,11.10,290
1530 DATA 11.20,385,11.30,540,11.33,45,11.35,95,11.40,172,11.50,180,12.00,230
1540 DATA 12.10,290,12.20,345,12.30,390,12.43,445,12.50,505,0,0
1550 REM
1560 DATA "S1", "12/SET", 141,2,45,0.5,.75,10.402,.590
1570 DATA 11.22,60,11.25,80,11.30,160,11.35,210,11.40,260,11.45,296,11.50,320
1580 DATA 11.55,350,12.00,377,12.05,393,12.10,410,12.15,435,12.20,466,12.25,475
1590 DATA 12.33,495,12.40,500,12.45,504,12.50,508,12.55,513,13.00,520,0,0
1600 REM
1610 DATA "S2", "06/SET", 142,2,45,0.5,1.5,7.177,.677
1620 DATA 8.49,94,8.52,120,8.55,170,9.00,270,9.05,320,9.12,385,9.17,450
1630 DATA 9.20,470,9.22,490,9.23,70,9.25,100,9.30,170,9.35,215,9.40,235
1640 DATA 9.46,290,9.50,310,9.55,340,10.00,370,10.10,432,10.14,455,10.15,110
1650 DATA 10.20,135,10.31,195,10.40,245,10.55,322,11.00,343,11.10,390,11.20,447
1660 DATA 11.30,555,11.40,563,11.50,617,12.00,700,0,0
1670 REM
1680 DATA "S3", "09/SET", 143,2,65,1.5,.75,11.003,.537
1690 DATA 8.10,80,8.15,310,8.20,373,8.25,465,8.29,510,8.30,70,8.35,106
1700 DATA 8.40,185,8.47,300,9.02,355,9.05,385,9.10,420,9.15,450,9.20,470
1710 DATA 9.25,500,9.30,510,9.35,527,9.40,535,9.45,540,9.50,550,9.55,563
1720 DATA 10.00,564,10.03,100,10.05,115,10.15,125,10.25,165,10.35,223,10.45,283
1730 DATA 11.10,325,11.20,330,11.25,375,11.30,377,0,0
1740 REM
1750 DATA "S4", "10/SET", 144,2,55,1.0,1.5,11.516,.575
1760 DATA 8.12,68,8.20,295,8.25,403,8.31,525,8.32,60,8.40,184,8.45,210
1770 DATA 8.50,240,8.55,290,9.00,345,9.05,375,9.10,395,9.15,432,9.20,465
1780 DATA 9.30,520,9.40,579,9.47,610,9.48,32,10.00,165,10.10,224,10.20,290
1790 DATA 10.30,340,10.40,380,10.50,438,10.57,466,11.00,482,11.05,502,11.10,520
1800 DATA 11.15,537,11.20,556,0,0
1810 REM
1820 DATA "S5", "11/SET", 145,2,55,1.0,.75,12.030,.541
1830 DATA 8.09,35,8.11,165,8.15,248,8.20,310,8.25,418,8.30,455,8.35,505,8.36,25
1840 DATA 8.40,35,8.45,65,8.52,125,8.55,142,9.00,152,9.05,185,9.10,220,9.15,237
1850 DATA 9.25,255,9.35,285,9.40,295,9.50,315,10.00,332,10.10,350,10.20,365
1860 DATA 10.30,375,10.40,385,10.50,397,11.00,410,11.14,425,0,0
1870 REM
1880 DATA "S6", "12/SET", 146,2,65,1.5,1.5,11.470,.554
1890 DATA 8.47,35,8.50,312,8.56,385,9.00,490,9.05,520,9.07,70,9.10,107,9.15,180
1900 DATA 9.20,210,9.25,245,9.30,310,9.35,350,9.40,399,9.45,439,9.50,474
1910 DATA 9.55,515,10.00,544,10.05,581,10.10,605,10.15,634,10.17,202,10.25,307
1920 DATA 10.35,331,10.45,383,0,0
1930 DATA "S7", "13/SET", 147,2,75,2.0,.75,10.706,.568
1940 DATA 8.45,35,8.47,155,8.51,300,8.55,370,9.00,430,9.05,455,9.11,508,9.15,540
1950 DATA 9.18,40,9.20,75,9.27,165,9.35,195,9.42,200,9.45,212,9.50,215
1960 DATA 9.58,245,10.05,260,10.10,270,10.20,280,10.30,315,10.40,340,10.52,380
1970 DATA 11.03,390,11.15,410,11.23,430,11.32,448,11.40,465,11.50,490,12.00,500
1980 DATA 12.10,520,0,0
1990 REM

ANEXO D4

- 3 -

2000 DATA "S8", "30/SET", 148, 2, 75, 2.0, 1.5, 10.463, .607
2010 DATA 7.45, 90, 7.48, 225, 7.50, 330, 7.55, 460, 8.01, 515, 8.06, 560, 8.08, 580, 8.09, 60
2020 DATA 8.10, 65, 8.15, 80, 8.20, 110, 8.25, 138, 8.30, 165, 8.35, 190, 8.40, 213, 8.45, 230
2030 DATA 8.50, 250, 8.57, 270, 9.00, 285, 9.05, 305, 9.12, 325, 9.15, 345, 9.20, 365
2040 DATA 9.25, 380, 9.30, 395, 9.37, 420, 9.40, 425, 9.45, 440, 9.50, 450, 10.00, 475, 0, 0
2050 REM
2060 DATA "T1", "30/SET", 151, 2, 45, 0.5, .75, 11.232, .579
2070 DATA 10.51, 80, 10.53, 110, 10.55, 165, 11.00, 222, 11.05, 265, 11.10, 290, 11.15, 315
2080 DATA 11.20, 340, 11.25, 370, 11.30, 390, 11.35, 410, 11.40, 420, 11.41, 95, 11.45, 105
2090 DATA 11.50, 113, 11.55, 120, 12.00, 125, 12.05, 132, 12.10, 160, 12.18, 170, 12.20, 180
2100 DATA 12.25, 185, 12.30, 200, 12.35, 228, 12.40, 245, 12.45, 250, 12.50, 255, 0, 0
2110 REM
2120 DATA "T3", "24/SET", 153, 2, 55, 0.5, .75, 11.926, .536
2130 DATA 11.14, 89, 11.19, 172, 11.22, 410, 11.25, 535, 11.29, 70, 11.30, 90, 11.35, 140
2140 DATA 11.40, 170, 11.45, 212, 11.50, 250, 12.00, 297, 12.07, 345, 12.11, 360, 12.15, 372
2150 DATA 12.20, 385, 12.25, 405, 12.30, 413, 12.35, 432, 12.40, 450, 12.45, 455, 12.50, 490
2160 DATA 12.55, 515, 13.02, 540, 13.08, 550, 13.11, 570, 13.15, 572, 13.19, 580, 0, 0
2170 REM
2180 DATA "T4", "25/SET", 154, 2, 55, 0.8, 1.5, 12.061, .540
2190 DATA 10.30, 50, 10.35, 125, 10.40, 210, 10.45, 275, 10.50, 302, 10.55, 330, 11.00, 370
2200 DATA 11.05, 395, 11.09, 410, 11.10, 70, 11.17, 228, 11.25, 225, 11.28, 390, 0, 0
2210 REM
2220 DATA "T5", "26/SET", 155, 2, 65, 1.5, .75, 10.680, .619
2230 DATA 7.50, 52, 7.53, 177, 7.55, 240, 8.00, 330, 8.05, 385, 8.10, 460, 8.15, 500, 8.20, 535
2240 DATA 8.25, 550, 8.27, 125, 8.30, 130, 8.32, 135, 8.35, 150, 8.40, 165, 8.45, 195
2250 DATA 8.52, 210, 9.00, 235, 9.07, 245, 9.15, 260, 9.23, 280, 9.31, 290, 9.40, 305
2260 DATA 9.50, 320, 10.00, 335, 0, 0
2270 REM
2280 DATA "T6", "26/SET", 156, 2, 65, 1.5, 1.5, 14.770, .467
2290 DATA 10.29, 60, 10.30, 80, 10.32, 160, 10.38, 370, 10.46, 440, 10.52, 530, 10.57, 600
2300 DATA 11.00, 630, 11.02, 70, 11.10, 75, 11.12, 80, 11.15, 165, 11.20, 190, 11.25, 198
2310 DATA 11.30, 213, 11.36, 240, 11.40, 250, 11.45, 280, 11.50, 305, 12.03, 355, 12.10, 375
2320 DATA 12.15, 400, 12.25, 425, 12.30, 445, 12.36, 456, 12.40, 465, 12.45, 473, 0, 0
2330 REM
2340 DATA "T7", "27/SET", 157, 2, 75, 2.0, .75, 10.595, .558
2350 DATA 7.47, 35, 7.53, 320, 7.55, 352, 8.01, 405, 8.03, 450, 8.05, 495, 8.10, 550, 8.15, 570
2360 DATA 8.18, 40, 8.20, 60, 8.30, 90, 8.40, 100, 8.45, 130, 8.50, 150, 9.10, 220, 9.20, 265
2370 DATA 9.25, 235, 9.33, 240, 9.45, 250, 9.50, 258, 9.56, 265, 10.00, 267, 10.10, 283
2380 DATA 10.25, 293, 10.30, 320, 10.40, 325, 0, 0
2390 REM

- 263 -