

# METODOLOGIA PARA OPTIMIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DA INFILTRAÇÃO EM REGA DE SUPERFÍCIE UTILIZANDO INFORMAÇÃO DE CAMPO

## FEEDBACK-CONTROL METHODOLOGY TO OPTIMIZE THE INFILTRATION PARAMETERS IN SURFACE IRRIGATION

António Canatário Duarte

Professor Adjunto da Escola Superior Agrária de Castelo Branco, Mestre em Engenharia da Rega e dos Recursos Agrícolas, membro da APRH n.º 961.

Pedro Leão de Sousa

Professor Associado do Instituto Superior de Agronomia.

**RESUMO** — As características de infiltração do solo são de importância determinante no estudo dos métodos de rega de superfície, nos quais se inclui o processo de rega por canteiros de nível. A sua deficiente avaliação poderá levar a uma incorrecta análise e gestão deste processo de rega.

O desenvolvimento de uma metodologia de optimização dos parâmetros da equação de infiltração com retorno de informação de campo constitui o principal objectivo deste estudo. A metodologia proposta é verificada para regas rigorosamente observadas, através de um procedimento simplificado.

No exercício de pesquisa dos parâmetros optimizados da equação de infiltração faz-se uma utilização exaustiva do modelo de simulação **SRFR 20.5**, no sentido de se procurar uma melhor aproximação entre resultados simulados e observados em determinada rega.

A metodologia desenvolvida para uma rega e depois verificada para outra subsequente mostra uma validade consistente traduzida pela obtenção de valores reduzidos dos aferidores numéricos SQD e Desvio absoluto ( $|D|$ ), respectivamente para a comparação entre tempos de avanço e tempo de recessão, observados e simulados.

**Palavras chave:** Rega de superfície; rega por canteiros de nível; retorno de informação de campo; modelos de simulação; optimização dos parâmetros da infiltração; gestão da rega.

**ABSTRACT** — *The water infiltration characteristics in the soil are of extreme importance to the study of surface irrigation methods, such as level basin irrigation. An erratic evaluation can lead to an incorrect analysis and management of the irrigation process.*

*The main objective of this study is to develop a feedback-control methodology which enables the infiltration parameters optimization. The*

*methodology is applied to precisely observed irrigations by a simplified process.*

*During the search to optimize the parameters for the infiltration equation, an intensive use of the surface irrigation computer program **SRFR 20.5** was carried out, to obtain the best approaches between simulated and observed results.*

*The developed methodology was applied to an irrigation event and then verified for another irrigation. It shows a consistent validity with low values of the Sum of Squares of Deviations (SQD) and Absolute deviation ( $|D|$ ) established respectively for the compared advance and recession time criteria, observed and simulated.*

**Key words:** Surface irrigation; level basin irrigation; feedback-control; simulation models; optimization of infiltration parameters; irrigation management.

### 1. INTRODUÇÃO

Nos métodos de rega de superfície, entre os quais se inclui o processo de rega por canteiros de nível, a água infiltra-se no solo à medida que avança na superfície do terreno, pelo que são de primordial importância as características de infiltração do solo. Vários autores, Elliot e Walker (1980), Walker e Skogerboe (1987) e Sousa (1990), referem que a qualidade da rega está grandemente condicionada pelas características de infiltração do solo, pelo que a deficiente avaliação destas pode resultar numa irregular distribuição da água, bem como numa excessiva perda de água por escorrimento e/ou percolação profunda. A este respeito, Serralheiro (1988) apresenta o processo de infiltração como um dos determinantes mais importantes no escoamento, influenciando as quantidades que se escoam no espaço como no tempo, pelo que tem que ser devidamente considerado aquando da simulação da rega.

De todos os factores que influenciam a qualidade da rega, as características de infiltração do solo são sem dúvida das

mais decisivas, sendo, conjuntamente com a rugosidade, de difícil avaliação antes ou durante o processo de rega (Clemmens, 1990).

Smith e Duke (1984) apontam como um dos maiores obstáculos à gestão dos sistemas de rega de superfície a dificuldade no estabelecimento dos parâmetros da infiltração, ocasionada sobretudo pela variabilidade temporal e espacial das características do solo.

Sousa e Trout (1992) consideram que a qualidade da rega de gravidade depende fortemente da superfície do solo bem como das características de infiltração, que variam espacialmente e de rega para rega, sendo portanto difíceis de avaliar.

Pode-se assim inferir da dificuldade de os parâmetros da infiltração, quando determinados pontualmente em ensaios de campo, descreverem de forma conveniente o fenómeno da infiltração alargado a toda a parcela em condições reais de rega. É nesta ordem de ideias, com o objectivo de melhor se conhecerem as condições da parcela e os seus efeitos na rega, e se proceder às correcções/ajustamentos necessários, que recentemente se têm desenvolvido algumas técnicas de retorno de informação.

A avaliação das características de infiltração é feita usualmente com recurso a dispositivos próprios denominados infiltrómetros, em pontos localizados na parcela de rega, não contemplando portanto as variações espaciais e temporais inerentes ao processo da infiltração durante a rega (Spurgeon e Duke, 1988). A este propósito Izadi *et al.* (1988) referem que a variação espacial e temporal dos parâmetros da infiltração terão que ser consideradas na gestão e avaliação dos sistemas de rega de superfície. Nesta perspectiva, Reddell e Latortue (1986), propõem um modelo de balanço de volume em que se usam os tempos de avanço e recessão, para avaliação da área média da secção transversal molhada em sulcos, e para determinação do parâmetro  $k$  da equação de infiltração de Kostiaikov.

Têm sido feitos esforços no sentido do desenvolvimento de esquemas operacionais que avaliem, durante a rega, as características de infiltração do solo e promovam as respectivas correcções no sistema de alimentação à parcela (Smerdon *et al.*, 1988; Latimer e Reddell, 1987). Cite-se a título de exemplo Smith e Duke (1984), que usam os dados de sensores localizados em 30 pontos do avanço em sulcos, para determinarem a sua localização óptima, que permita em tempo real a modificação oportuna do caudal. Contudo, algumas limitações têm sido encontradas na operacionalidade destes esquemas, sobretudo no que respeita à avaliação das características de infiltração durante a rega (Clemmens, 1992) e ao funcionamento automático dos sistemas (Sousa e Trout, 1992).

A importância do conhecimento das características de infiltração do solo na avaliação e gestão dos sistemas de rega de superfície determinou a formulação dos objectivos deste estudo. Para a sua concretização foi utilizado o modelo de simulação de rega de superfície **SRFR, versão 20.5**

(Strelkoff, 1992) que permite uma completa avaliação do processo de rega.

Os **objectivos** que prevaleceram durante a realização deste estudo foram os seguintes:

- Desenvolvimento de uma metodologia de optimização dos parâmetros da equação de infiltração com retorno de informação de campo, que permita uma adequada análise da rega e a formulação de sugestões para a melhoria da sua gestão;
- Verificação da metodologia aplicada a outras regas, através de um procedimento simplificado envolvendo uma pesquisa localizada dos parâmetros optimizados da equação de infiltração e, portanto, uma utilização menos intensiva do modelo de simulação.

## 2. METODOLOGIA PROPOSTA

Para a concretização deste estudo foram efectuados ensaios de rega na Estação Experimental António Teixeira do ex-Departamento de Regadio do I.N.I.A. (Instituto Nacional de Investigação Agrária), onde se fizeram avaliações durante as campanhas de rega de 1992 e 1993. A Estação Experimental está dividida em parcelas, distribuídas por duas categorias de solo. À mancha que inclui o talhão 5, seleccionado para os ensaios, correspondem aluviossilos modernos, não calcários húmicos, inundáveis.

A cultura instalada no canteiro foi o milho híbrido, em linhas espaçadas de 0.75 m. Foram abertos sulcos de nível no canteiro quando as plantas apresentavam 40-50 cm de altura, com o auxílio de um abre-sulcos comandado por equipamento laser. No segundo ano de ensaios o abre-sulcos foi complementado com rodas formatadoras, que ao se deslocarem nos sulcos lhe conferiram uma forma transversal trapezoidal.

Os valores obtidos no campo foram usados como dados de entrada do modelo **SRFR 20.5**, ou como critérios de comparação entre resultados observados no campo e resultados simulados. Importa referir que o rigor dos resultados obtidos em ensaios de campo é bastante importante para o desenvolvimento da metodologia proposta. Refere-se de seguida a informação obtida nos ensaios de campo.

### ■ Caudais de alimentação aos sulcos

Na rega por canteiros de nível, dado que não se dispõe de gradiente gravitacional, os caudais devem ser elevados, já que a velocidade do escoamento depende directamente da carga disponível. A avaliação dos caudais foi feita na cabeceira dos sulcos no início da rega, e posteriormente a intervalos de tempo regulares (10 minutos). Para tal utilizaram-se medidores portáteis de soleira espessa modificada e, a título de confirmação, o método volumétrico, com recurso a um recipiente graduado e a um cronómetro.

### ■ Profundidade do escoamento

No primeiro ano de ensaios, para esta medição foram utilizadas pequenas régua graduadas coladas em estacas de madeira, que eram colocadas no talvegue dos sulcos. Esta técnica não se revelou eficiente por comportar imprecisões e por não tomar em conta as variações da microtopografia do terreno, pelo que no segundo ano se optou por registar as cotas de superfície livre de escoamento, com o auxílio de uma mira de precisão e de um nível topográfico. A partir destas observações é feito o cálculo do gradiente hidráulico do escoamento.

### ■ Caracterização da fase de avanço

As medições foram feitas por observação directa da chegada da água a cada uma das estações (espaçadas de 10 metros e até um comprimento de 100 metros) e registo dos respectivos tempos. Em alternativa usaram-se pequenos relógios digitais, colocados junto a cada uma das estações de controlo do avanço. Cada relógio era activado quando a frente da lâmina de água atingia a correspondente estação, continuando a funcionar até que fosse recolhido no final da rega.

### ■ Caracterização da fase de recessão

Esta fase da rega foi observada em pontos de terreno intervalados de 20 metros, e registados os respectivos tempos. Não se observaram diferenças significativas dos tempos de recessão ao longo do comprimento controlado da parcela.

### ■ Geometria da secção transversal do escoamento

Os perfis transversais dos sulcos foram obtidos, antes de cada rega, em secções na cabeceira, no meio e no fim dos sulcos, com a utilização de um perfilómetro de agulhas, descrito por Walker e Skogerboe (1987). Esta informação é utilizada na determinação da área  $A$  ( $m^2$ ) e perímetro molhados da secção transversal do escoamento para uma dada profundidade. Conjuntamente com o caudal  $Q$  ( $m^3s^{-1}$ ) e o gradiente hidráulico  $S$  ( $m\ m^{-1}$ ), permitem o cálculo do coeficiente de rugosidade,  $n$ , da fórmula de Manning-Strickler:

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

em que  $R$  (m) representa o raio hidráulico da secção.

A informação obtida com a utilização do perfilómetro de agulhas é ainda necessária na determinação de equações potência de caracterização do perfil transversal do escoamento.

### ■ Caracterização da infiltração

O processo da infiltração em sulcos tem características particulares, que determinam que o seu estudo se faça em

modalidades adequadas, como sejam os infiltrómetros de sulco. No presente estudo foram utilizados infiltrómetros de sulco bloqueado. Os parâmetros das equações de infiltração, em particular as equações de Kostiakov e de Kostiakov-Lewis, foram obtidos por regressão linear pelo método dos mínimos quadrados, estabelecida entre duas séries de valores logaritmicados. Estas determinações são usadas, quer na selecção da equação de infiltração que melhor se ajusta aos dados dos ensaios de infiltração, quer no cálculo da taxa de infiltração final ou estabilizada, obtida por regressão linear das séries de valores do tempo e da infiltração acumulados, mas tomando só os pares de valores finais, ou seja, quando a taxa de infiltração tende para um valor estável.

O procedimento metodológico que seguidamente será descrito pretende ser um instrumento de melhoria da análise e gestão da rega em canteiros de nível, contribuindo para o aprofundamento da compreensão deste processo de rega. A mesma base metodológica poderá posteriormente ser aplicada aos restantes sistemas de rega de superfície, mediante pequenas alterações.

As equações de infiltração consideradas neste estudo são aquelas que normalmente são aceites pela generalidade dos modelos de simulação de rega, e que podem ser descritas pela expressão genérica

$$Z = kt^a + i_p t + C \quad (2)$$

em que  $Z$  representa a infiltração acumulada, em mm,  $t$  o tempo de oportunidade de infiltração, em h,  $i_p$  a infiltração básica ou estabilizada, em  $mm\ h^{-1}$ ,  $C$  a altura de água infiltrada no início do processo de infiltração para preenchimento das fendas à superfície do solo, em mm, e  $k$  e  $a$  os coeficientes de ajustamento obtidos experimentalmente. A forma mais simples, utilizada quando os tempos de infiltração são curtos, corresponde à anulação de  $i_p$  e de  $C$ , sendo denominada de Kostiakov. Para tempos mais longos, como em geral se verifica na rega de gravidade, adopta-se normalmente a equação de Kostiakov-Lewis, em que se procede à anulação do termo  $C$ .

A base da metodologia proposta consiste na pesquisa da combinação dos parâmetros da equação de infiltração que conduzam a um conveniente ajustamento dos valores simulados do avanço e recessão aos dados observados (Duarte, 1994). Assume-se que numa rega rigorosamente observada, para cada valor do expoente  $a$  da equação de infiltração, existirá um valor do coeficiente  $k$ , que permite a obtenção de um bom ajustamento entre os valores simulados e observados do avanço referentes à totalidade do comprimento controlado da parcela (Fig. 1). Idêntico raciocínio se pode estabelecer relativamente aos dados da recessão.

Os aferidores numéricos usados na verificação do melhor ajustamento aos tempos observados são, para os tempos de avanço a **Soma do Quadrado dos Desvios (SQD)**, também

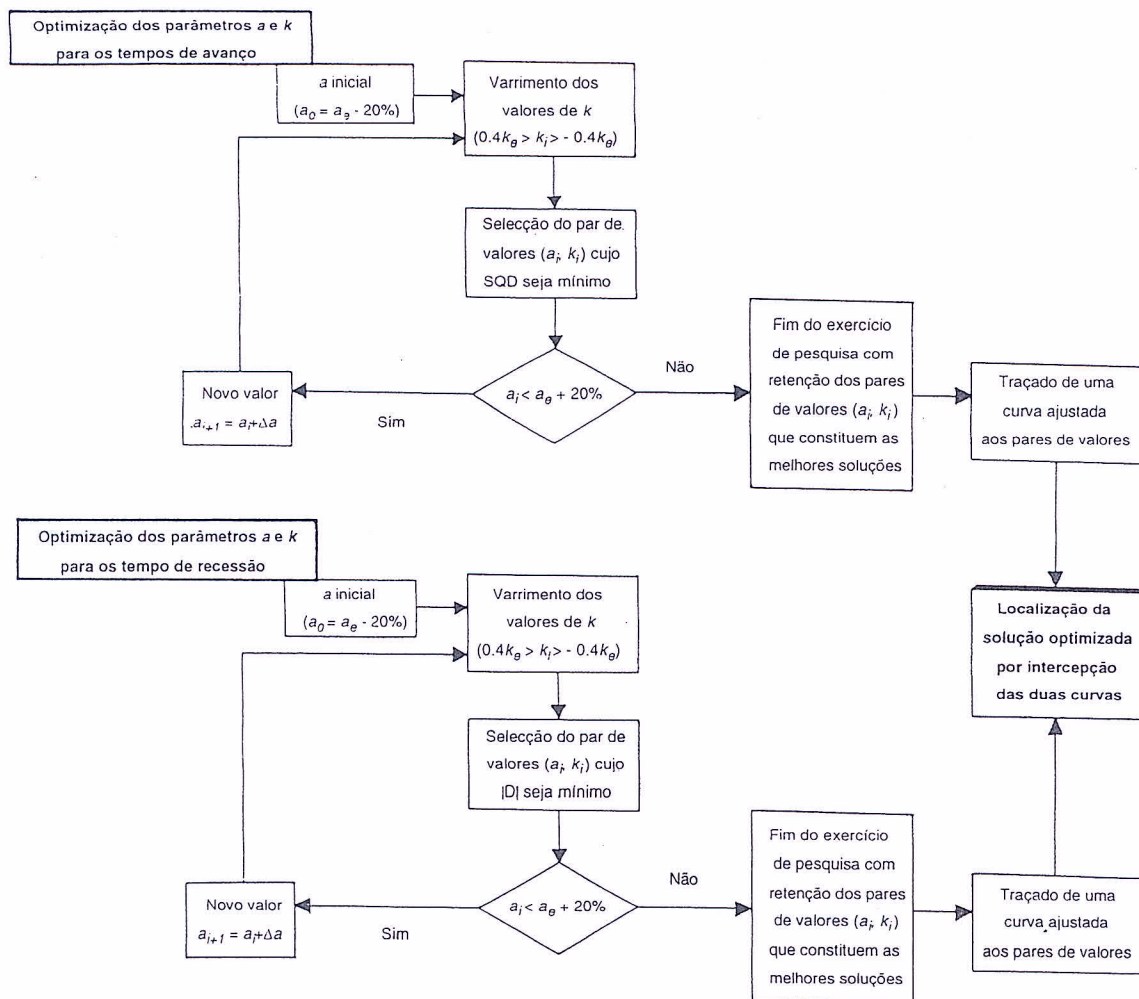


Figura 1 — Esquema do procedimento adoptado no desenvolvimento da metodologia onde  $a_e$  e  $k_e$  representam os coeficientes obtidos em ensaios de infiltração

usado por Clemmens (1989) com o mesmo propósito, e o **Desvio absoluto** ( $|D|$ ) entre o valor simulado e observado para o tempo de recessão. Convém referir que esta última situação diz respeito a um único valor de tempo de recessão, pois na rega por canteiros de nível se considera a recessão praticamente simultânea em todos os pontos da parcela.

Desenvolvem-se assim dois conjuntos de pares de valores dos coeficientes da equação de infiltração, um referente aos dados do avanço e o outro aos da recessão. A união dos pontos referentes a cada um dos conjuntos, dará origem a duas linhas que se interceptam num ponto. O correspondente par de valores dos coeficientes da equação de infiltração deverá ser aquele que descreve o fenómeno da infiltração alargado a toda a parcela, nas condições hidropedológicas em que se efectuou a rega.

O procedimento anterior foi desenvolvido para um único valor de coeficiente de rugosidade, que foi determinado de uma forma cuidada na parcela, e que se assume como representativo para as condições observadas.

Para a aplicação da metodologia, em que se torna imprescindível a utilização intensiva do modelo de simulação

**SRFR 20.5**, é necessário definir detalhadamente o seu ficheiro de entrada. Este é essencialmente baseado nas observações de campo, de acordo com determinadas técnicas experimentais, e em opções de solução numérica. O modelo é usado num processo continuado de pesquisa, em que se fazem variar os parâmetros de infiltração, mantendo-se todos os outros dados do ficheiro de entrada.

A informação fornecida ao modelo para o presente estudo corresponde à primeira rega do talhão 5, observada em 13/7/93, e organizada da forma sistematizada que a seguir se apresenta.

#### ■ Propriedades hidráulicas do solo e da cultura

- Características de infiltração — nesta opção é possível seleccionar o tipo de equação que evidencia o melhor ajustamento aos dados observados nos testes de infiltração. A análise do Quadro I, onde constam os valores dos parâmetros das equações de infiltração assim como do aferidor numérico usado, permitiu escolher previamente a equação de

Kostiakov-Lewis para descrever o processo de infiltração para esta rega;

Quadro I

Parâmetros das equações de infiltração de Kostiakov e de Kostiakov-Lewis, ajustados a partir dos dados observados antes da rega, em ensaio de sulco-infiltrômetro bloqueado. Coruche, Talhão 5, 13/7/93

Equações de Infiltração	Parâmetros			Aferidor
	$k$ (mm h <sup>-a</sup> )	$a$	$i_f$ (mm h <sup>-1</sup> )	SQD (mm <sup>2</sup> )
Kostiakov	66.0	0.198	-	1.3
Kostiakov-Lewis	51.0	0.085	15.53	0.6

- Coeficiente de rugosidade ( $n$ ) — este coeficiente de resistência ao escoamento é calculado a partir dos valores observados durante a rega, tendo-se obtido para a rega em estudo um valor de 0.036.

▪ Geometria da parcela

- Comprimento do canteiro — 100 m;
- Canteiro sem escoamento final;
- Declive médio — dado tratar-se de um canteiro de nível os declives logitudinal e transversal são nulos;
- Forma transversal dos sulcos — foi caracterizada através de uma equação potência que relaciona a profundidade do escoamento,  $y$  (cm), com a sua largura à superfície,  $B$  (mm), estabelecida para o perfil que representa as condições médias do sulco observado para esta rega, cuja equação proposta por Walker e Skogerboe (1987) e usada por Sousa *et al.* (1995) assume a seguinte forma:

$$B = c y^m \tag{3}$$

Com base nos registos de campo das coordenadas do perfil transversal, os parâmetros empíricos de ajustamento da equação potência são calculados após transformação logarítmica. Para o caso presente obteve-se um valor de 117.90 mm cm<sup>-m</sup> para o coeficiente  $c$  e um valor de 0.39 para o expoente  $m$ ;

- Espaçamento entre sulcos — 0.75 m.

▪ Parâmetros de gestão da rega

- Dotação útil requerida — 40 mm;
- Caudal unitário constante de 1.5 ls<sup>-1</sup>/sulco e fornecido num só impulso;
- Tempo de aplicação — 35 min.

▪ Parâmetros de solução numérica

- Modelo de inércia nula;
- Equações algébricas não linearizadas, resolvidas iterativamente para cada passo de tempo (Strelkoff, 1992);
- Número de células em que é dividida uma onda — 10;
- Número máximo admissível de iterações para se atingir a convergência — 20.

No início do exercício de optimização a pesquisa envolveu um largo espectro para os parâmetros  $a$  e  $k$  da equação de infiltração, que se foi estreitando à medida que se começou a evidenciar a zona de intercepção das curvas de optimização relativas aos tempos de avanço e de recessão. Depois de estudada com mais pormenor esta zona, é obtida a informação constante do Quadro II referida aos tempos de avanço, onde se figuram também os valores do aferidor numérico usado (SQD).

Quadro II

Parâmetros da equação de infiltração optimizados para os tempos de avanço e correspondentes à rega em estudo

Expoente $a$	Coefficiente $k$ (mm h <sup>-a</sup> )	Aferidor SQD (min <sup>2</sup> )
0.055	26.0	10.7
0.065	22.0	11.5
0.075	18.0	11.9
0.085	16.0	11.3

De igual modo é obtida a informação do Quadro III respeitante ao tempo de recessão. Com base nos elementos constantes dos dois quadros traçaram-se as duas curvas da Figura 2.

Quadro III

Parâmetros da equação de infiltração optimizados para o tempo de recessão e correspondentes à rega em estudo

Expoente $a$	Coefficiente $k$ (mm h <sup>-a</sup> )	Aferidor  D  (min)
0.055	16.0	36.0
0.065	22.0	22.2
0.075	28.0	12.5
0.085	38.0	6.4

Os valores dos parâmetros  $a$  e  $k$  da equação de infiltração correspondentes ao ponto de intercepção das duas curvas são respectivamente 0.065 e 22.0 mm h<sup>-a</sup>, que são subs-

tancialmente diferentes dos valores 0.085 e 51 mm h<sup>-a</sup> obtidos no teste de infiltração. Verifica-se assim que, nas condições da rega abrangendo a totalidade da parcela, a infiltração é menos intensa do que a observada no ensaio de sulco-infiltrómetro bloqueado. Tal poderá dever-se ao carácter pontual do ensaio, não representando as características gerais da parcela.

De referir que a taxa de infiltração final ou estabilizada ( $i_f$ ) da equação de infiltração de Kostiakov-Lewis, é calculada da forma já descrita anteriormente, não sendo alvo deste exercício de optimização, por se considerar que o ensaio é suficientemente longo para fornecer um valor já muito próximo do real.

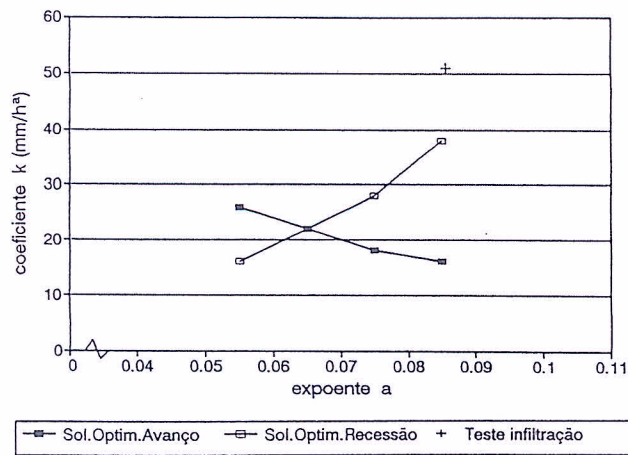


Figura 2 — Curvas de optimização (■ avanço; □ recessão) dos parâmetros da equação de infiltração para a rega em estudo

A simulação da rega com este par de valores dos parâmetros  $a$  e  $k$  da equação de infiltração de Kostiakov-Lewis conduz a resultados simulados bastante próximos dos observados, facto que é suportado pelo cálculo de uma SQD igual a 11.5 min<sup>2</sup>, relativamente aos tempos de avanço, e a um  $|D|$  igual a 22.2 minutos relativamente ao tempo de recessão, ou de um modo diferente pela observação da Fig. 3.

Importa registar que o  $|D|$  da recessão (22.2 min), correspondendo a um erro de cerca de 10% do tempo de recessão, é devido provavelmente a um critério diferente de avaliação do momento da recessão considerado pelo modelo, relativamente ao usado na observação de campo. Apesar da forma rigorosa seguida nessas observações, convém não perder de vista a subjectividade a que a avaliação da recessão está sujeita (Sousa, 1990).

### 3. VERIFICAÇÃO DA METODOLOGIA E PROPOSTA DE PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO

A metodologia foi desenvolvida tendo por base uma rega rigorosamente observada. A sua verificação foi concretizada numa rega da mesma campanha, através de um procedimento simplificado que apresenta validade para todas as

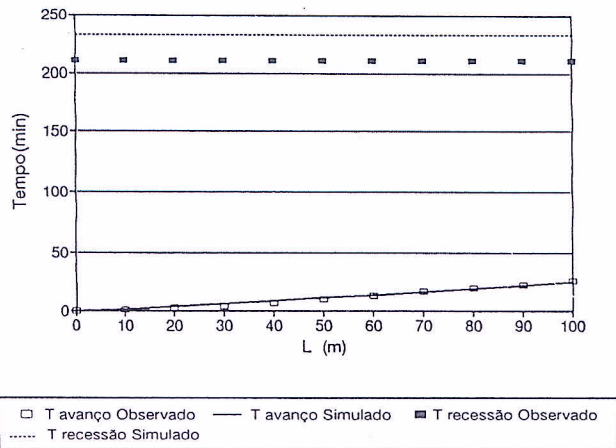


Figura 3 — Valores de avanço e de recessão observados e simulados com os parâmetros optimizados da equação de infiltração para a rega em estudo

regas subsequentes na mesma parcela, cuja descrição se apresenta de seguida.

Os parâmetros optimizados para a rega em função da qual foi desenvolvida a metodologia são válidos para as condições prevalentes que foram objecto de observação minuciosa. É lícito esperar que, em regas posteriores, se alterem as características de infiltração do solo, o que ocasiona a observação de resultados diferentes. Admitindo que as características de infiltração do solo não variam radicalmente ao longo da época de rega, sugere-se um procedimento de pesquisa localizada na zona de intercepção das duas curvas de optimização (relativas ao avanço e à recessão) dos parâmetros da equação de infiltração (Fig. 2).

Apresentando o expoente  $a$  da equação de infiltração uma razoável estabilidade ao longo da estação de rega (Clemmens, 1989; Sousa, 1990), é estabelecida uma pequena amplitude de variação relativamente ao valor optimizado na rega precedente. Para cada um destes valores do parâmetro  $a$  da equação de infiltração (resultantes de uma variação positiva e negativa com a mesma amplitude), são pesquisados os valores do coeficiente  $k$  que minimizam a SQD entre os tempos de avanço observados e simulados, e o  $|D|$  entre o tempo de recessão estimado e simulado. Obtêm-se assim dois pares de valores do coeficiente  $k$  que minimizam cada um dos aferidores numéricos usados, cujas uniões originam dois segmentos de recta que se interceptam num ponto. Considera-se este ponto de intercepção como o de optimização das características de infiltração válidas para essa rega.

Refira-se que, dado o comportamento do coeficiente  $k$  para a variação imposta do expoente  $a$ , o mesmo deverá ocasionar um intercepção entre as curvas de optimização, de acordo com a Fig. 4. Se tal amplitude de variação for pequena, sem que daí resulte a intercepção das duas curvas, então dever-se-à aumentar o limite de variação imposto para que se verifique o cruzamento das duas curvas, e que corresponde ao ponto que representa a optimização das características de infiltração válidas para essa rega.

Para a 3.<sup>a</sup> rega do canteiro 5, realizada em 18/8/93, para a qual se verifica a metodologia e que foi igualmente caracterizada com rigor, a amplitude de variação estabelecida para o expoente  $a$  foi de  $\pm 15\%$ , tendo sido suficiente para que se verificasse a intercepção das curvas.

A informação fornecida ao programa foi idêntica à que ocorreu na definição da metodologia, com as seguintes excepções:

- **Propriedades hidráulicas do solo e da cultura**
  - Características de infiltração — nesta série de simulações impôs-se uma variação de  $\pm 15\%$  relativamente ao expoente  $a$  otimizado anteriormente, pesquisando-se os valores de  $k$  que constituam boas soluções.
  - Coeficiente de rugosidade ( $n$ ) — um valor de  $n$  igual a 0.039 foi calculado a partir dos dados observados durante a rega.

■ **Geometria da parcela**

Para esta rega as características transversais de escoamento alteraram-se relativamente à primeira rega da campanha, tomando a equação potência valores para  $c$  e  $m$  respectivamente de  $100 \text{ mm cm}^{-m}$  e 0.55.

■ **Parâmetros de gestão da rega**

A dotação requerida continua a ser nesta rega de 40 mm, assegurada pelo fornecimento de um caudal constante de  $1.8 \text{ ls}^{-1}/\text{sulco}$ , durante um tempo de aplicação de 30 min.

O exercício de pesquisa já referido anteriormente, sendo mais localizado e tendo uma técnica definida, envolve o uso do computador de uma forma muito menos intensiva do que o exercício executado no desenvolvimento da metodologia. A avaliação de campo foi também simplificada, não se tendo procedido ao teste de infiltração, o que limita as observações aos registos decorrentes durante a rega.

Da sua execução resultam dois valores do coeficiente  $k$  da equação de infiltração que minimizam a SQD para os tempos de avanço, e dois valores do mesmo coeficiente que minimizam o  $|D|$  para os tempos de recessão, que se apresentam no Quadro IV.

Quadro IV

Valores de  $k$  da equação de infiltração resultantes do procedimento adoptado na verificação da metodologia e correspondentes a uma variação de  $\pm 15\%$  do expoente  $a$  obtido na optimização da 1.<sup>a</sup> rega do talhão 5 (13/7/93)

$a = 0.075$ (+15%)				$a = 0.055$ (-15%)			
Avanço $k$ ( $\text{mm h}^{-a}$ )	Recessão SQD ( $\text{min}^2$ )	Recessão $k$ ( $\text{mm h}^{-a}$ )	$ D $ (min)	Avanço $k$ ( $\text{mm h}^{-a}$ )	Recessão SQD ( $\text{min}^2$ )	Recessão $k$ ( $\text{mm h}^{-a}$ )	$ D $ (min)
16.0	3.31	20.0	4.1	18.0	3.9	12.0	1.5

Do procedimento gráfico, por união dos pontos de optimização obtidos para a variação imposta de  $\pm 15\%$  de  $a$ , resultam dois segmentos de recta que se interceptam num ponto, conforme representado na Fig. 4, ao qual corresponde um expoente  $a$  igual a 0.067 e um coeficiente  $k$  igual a  $17.0 \text{ mm h}^{-a}$

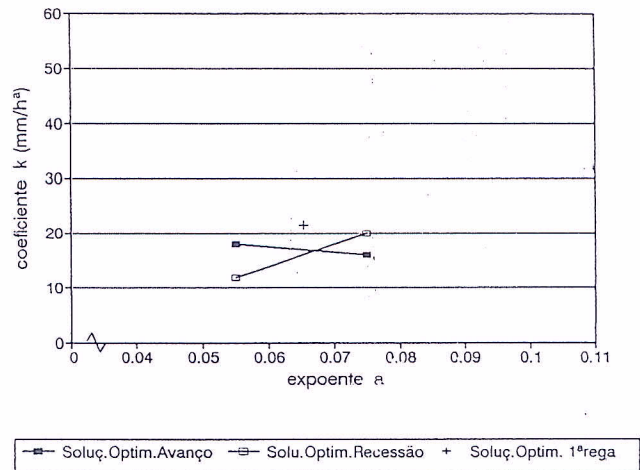


Figura 4 — Optimização dos parâmetros da equação de infiltração para a 3.<sup>a</sup> rega do talhão 5 (18/8/93)

Com estes parâmetros optimizados da equação de infiltração procedeu-se à simulação, mantendo-se os restantes dados do ficheiro de entrada para esta rega, tendo daí resultado uma excelente aderência dos valores simulados aos valores observados, como se pode verificar na Fig. 5, ou de uma forma mais consistente por indicação dos aferidores numéricos utilizados, com a SQD igual a  $3.2 \text{ min}^2$  e o  $|D|$  igual a 6.8 minutos.

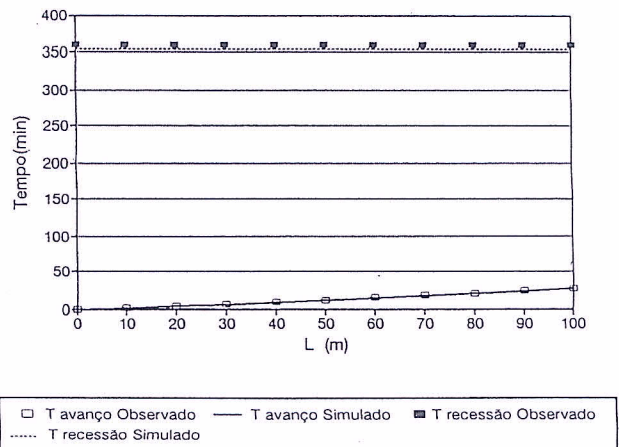


Figura 5 — Valores de avanço e de recessão observados e simulados com os parâmetros optimizados da equação de infiltração para a 3.<sup>a</sup> rega do talhão 5 (18/8/93)

Pode-se pois inferir que as características de infiltração avaliadas por este procedimento permitem obter resultados simulados da rega suficientemente próximos dos observados nos ensaios de campo, pelo que o procedimento usado mostra validade na determinação das características de infiltração que prevaleceram durante esta rega.

Esta metodologia que usa as observações de campo é especialmente útil e representa um contributo, na melhoria da avaliação de uma rega praticada, podendo dar indicações para a sua gestão. Ainda assim, será possível o seu aperfeiçoamento através do aumento da informação disponível, e da integração, por meios informáticos, dos processos de cálculo parcelares desta metodologia.

#### 4. CONCLUSÕES

Deste estudo, que envolveu um detalhado esquema experimental e um intensivo trabalho de simulação em computador, torna-se possível, desde já, enunciar as seguintes conclusões preliminares:

- Validade da metodologia de optimização dos parâmetros da equação de infiltração, e também do

procedimento simplificado na sua verificação para outra rega, que se traduz por valores baixos dos aferidores numéricos usados, ou seja uma razoável aproximação entre os valores observados e os valores simulados para cada uma das regas.

- A incidência prática da metodologia desenvolvida está claramente relacionada com um maior rigor na análise da rega, através da utilização de parâmetros de infiltração adequados, e consequentemente com uma progressiva optimização da gestão dos sistemas de rega.
- A metodologia desenvolvida é susceptível de aplicação a outros sistemas de rega de gravidade, desde que as observações de campo sejam efectuadas com precisão e se utilize um modelo de simulação como o **SRFR**, ou outro idênticamente rigoroso.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CLEMMENS, A.J. 1989. Management of basin/border irrigation systems with feedback control. *ASAE Paper No. 89-2550. ASAE International Winter Meeting, New Orleans, Louisiana, December 12-15, 15 p.*
- CLEMMENS, A.J. 1990. Feedback control for surface irrigation management. *Proceedings on Third National Irrigation Symposium, Phoenix, Arizona, 28 Oct.-01 Nov., 1990, 255-260.*
- CLEMMENS, A.J. 1992. Feedback control of basin-irrigation system. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 118(3): 480-496.*
- DUARTE, A.C. 1994. *Metodologia de retorno de informação de campo para melhoria da análise e gestão da rega em canteiros de nível.* Tese de Mestrado, Instituto Superior de Agronomia, U.T.L., Lisboa.
- ELLIOT, R.L., W.R. WALKER. 1980. Furrow irrigation infiltration and advance functions. *ASAE Paper No. 80-2075. ASAE Summer Meeting, San Antonio, Texas, June 15-18.*
- IZADI, B., D.F. HEERMANN, H.R. DUKE. 1988. Sensor placement for real time infiltration parameter evaluation. *Transactions of the ASAE, 31(4): 1159-1166.*
- LATIMER, E.A., D.L. REDDELL. 1987. Effect of neglecting surface storage on performance of an automated furrow irrigation system. *ASAE Paper No. 87-2639. ASAE International Winter Meeting, Chicago, Illinois, December 15-18, 14 p.*
- REDDELL, D.L., H.F. LATORTUE. 1986. Evaluation of furrow surface storage and the Kostiakov infiltration parameters using irrigation advance data. *ASAE Paper No. 86-2574. ASAE Winter Meeting, Chicago, Illinois, December 16-19, 27 p.*
- SERRALHEIRO, R.P. 1988. *Um estudo da rega por sulcos num solo argiluiado.* Dissertação de Doutoramento, Universidade de Évora.
- SMERDON, E.T., A.W. BLAIR, D.L. REDDELL. 1988. Infiltration from furrow irrigation advance data. I: theory. *Journal of the Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 114(1): 4-17.*
- SMITH, D.L., H.R. DUKE. 1984. Prediction of irrigation advance rates in real time. *ASAE Paper No. 84-2590. ASAE Winter Meeting, New Orleans, Louisiana, December 11-14, 17 p.*
- SOUSA, P.L. 1990. *Modelação e gestão em rega por canteiros de nível.* Dissertação de Doutoramento, Instituto Superior de Agronomia, UTL, Lisboa.
- SOUSA, P.L., T.J. TROUT. 1992. Constraints to real-time control of surface irrigation. *Proceedings of the Workshop on Real Time Sensing and Control Automated Irrigation Systems. ICID 16 th European Regional Conference, Budapest, 26 June, 1992.*
- SOUSA, P.L., A.R. DEDRICK, A.J. CLEMMENS, L.S. PEREIRA. 1995. Effect of furrow elevation differences on level-basin performance. *Transactions of the ASAE, 38(1): 153-158.*
- SPURGEON, W.E., H.R. DUKE. 1988. Furrow irrigation performance using real time control. *Proceedings on Planning Now for Irrigation & Drainage, IR Div/ASCE, Lincoln, Nebraska, July 18-21, 133-140.*
- STRELKOFF, T. 1992. *SRFR version 20.5 (experimental): a computer program for simulating flow in surface irrigation.* U.S.D.A., Agricultural Research Service, 59 p.
- WALKER, W.R., G.V. SKOGERBOE. 1987. *Surface irrigation — theory and practice.* Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 386 p.