

EFICIÊNCIA DE IRRIGAÇÃO EM SULCOS PARCIALMENTE FECHADOS NO FINAL¹

JOSÉ MONTEIRO SOARES, ARNÓBIO ANSELMO MAGALHÃES² e
JOSÉ ILTON FAGUNDES DA ROSA³

RESUMO - Compararam-se dois sistemas de irrigação por sulcos. Um deles constou da aplicação de vazões constantes, através de sifões para valores de R (relação entre o tempo de oportunidade no final do sulco e o tempo de avanço) iguais a 0,2; 0,7 e 1,2. O outro constou da redução semi-automática da vazão inicial através de cânulas para R igual a 1,0. Em ambos os sistemas de irrigação, foram testadas duas modalidades de sulcos: sulcos abertos (SA), sistema tradicional, e sulcos parcialmente fechados no final (SPF), por meio de verterdores triangulares feitos de folhas de ferro. Constatou-se que o tempo de recessão no SPF é relativamente maior que no SA, em ambas as vazões, e que o tempo de recessão no trecho final do sulco aumentou bruscamente com o acréscimo do valor de R, em vazão constante, enquanto para o SA a recessão apresentou-se como uma linha horizontal. As vazões médias de escoamento superficial em sulcos abertos mostraram-se bastante superiores às do sistema de sulcos parcialmente fechados, em ambas as vazões. As perdas por escoamento superficial no SPF, em vazão constante, em relação às perdas observadas no SA, foram reduzidas em 72,22%; 79,23% e 52,48%, para valores de R iguais a 0,2; 0,7 e 1,2, respectivamente. Enquanto em redução semi-automática da vazão inicial, estas perdas foram reduzidas em apenas 25,07%, para R igual a 1,0. O sistema de irrigação SPF proporcionou um aumento médio de 29,40% na eficiência de aplicação em relação ao SA em vazão constante.

Termos para indexação: vazão constante, recessão de água, escoamento superficial.

IRRIGATION EFFICIENCY IN FURROWS PARTIALLY CLOSED AT THEIR ENDS

ABSTRACT - Two furrow irrigation systems were compared, the first one consisting of applying constant flows through sifons for R (opportunity time to advance time ratio) values equal to 0.2, 0.7 and 1.2. The second system consisted of a semi-automatic reduction in the initial flow, through spiles, for R = 1.0. Both systems were tested for two types of furrow: open or traditional system (OS) and partially closed at the end (PCE), by using a triangle-form spillway made of iron foil type 16. It was observed that the recession time in PCE is relatively longer than in SA under both flow conditions and the recession time at the end of the furrow increased sharply as the R value increased under constant flow. For OS the recession time was shown to be a horizontal line. The average run-off flows in SA were much higher than in PCE, under both flow conditions. The run-off losses in PCE system, under constant flows, compared to OS system, were reduced in 72.22%, 79.23%, and 52.48%, for R values equal to 0.2, 0.7, and 1.2, respectively. Under semi-automatic reduction in the initial flow, these losses were reduced only in 25.07% for R = 1.0. The PCE irrigation system increased the irrigation efficiency by 29.40% in relation to the SA system under constant flow condition.

Index terms: constant flow, water recession, run-off.

INTRODUÇÃO

O método de irrigação por sulco constitui, sem dúvida, o processo de aplicação de água no solo, mais tradicionalmente usado em todo o mundo, inclusive no Brasil.

Segundo López (1973), o método de irrigação por sulco pode classificar-se em sulcos com saída de água (sulcos clássicos, sulcos com retenção de

água, corrugação) e sulcos sem saída de água (sulcos fechados no final, sulcos com vários diques e sulcos em nível). Nas modalidades de sulcos com saída de água, a eficiência de aplicação tende a crescer até um determinado valor do fator R (relação entre o tempo de oportunidade no final do sulco e o tempo de avanço), enquanto a eficiência de distribuição e as perdas de água por escoamento superficial tendem a aumentar, em vazão constante (Soares et al. 1981). Nas modalidades de sulcos sem saída de água (sulcos com declividade maior que zero e fechados no final com vários diques), as eficiências de distribuição e de aplicação tendem a crescer com a eliminação aparente das perdas de água por escoamento superficial. Porém, nesta modalidade de irrigação por sulco, os diques de terra

¹ Aceito para publicação em 1 de fevereiro de 1985.

² Eng. - Agr., M.Sc., Irrigação e Drenagem, EMBRAPA/Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), Caixa Postal 23, CEP 56300 Petrolina, PE.

³ Eng. - Agr., Estagiário CNPq/CPATSA.

tendem a ser destruídos pelo transbordamento d'água, mesmo com manejo muito preciso da água no canal parcelar.

Azevedo (1975) constatou que o sistema de sulcos fechados no final com diques de terra tendem a compensar a lâmina de água infiltrada no final do sulco, quando comparado com a lâmina infiltrada no início do sulco. Porém, não mencionou os problemas de transbordamento de água no sulco, quer através das laterais do sulco, quer através da quebra do dique de terra, principalmente quando se usa uma vazão constante durante todo o tempo de irrigação.

A recessão da água no sulco é um fator essencial para determinação do tempo de oportunidade em qualquer seção do sulco, assim como para avaliar de modo mais preciso as eficiências de aplicação e de distribuição (Wu 1972).

Merriam et al. (1973) mencionam que, se a água está presente no sulco por um tempo apreciável após a interrupção de aplicação de água no sulco, o tempo de recessão deve ser levado em consideração, porque representa um tempo extra para a infiltração.

Lal & Pandya (1970) afirmam que, para eliminar completamente as perdas de água por escoamento superficial, pode-se bloquear o final do sulco com diques de terra, desde que a vazão aplicada no início do sulco seja gradualmente reduzida para um valor tão próximo quanto possível da velocidade de infiltração básica do solo. Porém, a redução da vazão aplicada por sulco é uma prática pouco usada, condicionada pelo difícil manejo de água no canal parcelar (Sakkas & Hart 1968).

Portanto, o desenvolvimento e avaliação do método de irrigação por sulco parcialmente fechado no final visa o aumento das eficiências de aplicação e distribuição, mesmo mediante a aplicação de lâmina de água, bem como a redução ou mesmo a eliminação das perdas de água por escoamento superficial, quer com vazão constante quer com redução de vazão inicial.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido no Campo Experimental de Bebedouro, Petrolina, PE, num Latossolo Vermelho-Amarelo, com profundidade média de 1,50 m, com tex-

tura variando de arenosa na superfície a barro-argilo-arenosa ou argilo-arenosa, a partir de 0,50 m.

Os testes compreenderam dois sistemas de irrigação por sulcos. Um deles foi manejado com vazão constante, em que a derivação de água para os sulcos era feita por meio de sifões de PVC flexível. O outro foi manejado com redução semi-automática da vazão inicial, através de cânulas. As Fig. 1 e 2 mostram detalhes referentes aos sistemas de derivação de água para os sulcos através de sifões e de cânulas, respectivamente. Foram testadas duas modalidades de sulcos: sulcos abertos na extremidade final (SA) e sulcos parcialmente fechados no final (SPF) por meio de vertedores triangulares, confeccionados em chapas de ferro tipo 16. No sistema de irrigação por sifão, a irrigação foi manejada para valores de R iguais a 0,2; 0,7 e 1,2, enquanto no sistema de irrigação com redução semi-automática da vazão inicial, adotou-se apenas o valor de R igual a 1.

Cada sistema de irrigação era constituído de nove sulcos, em três repetições, tendo os sulcos apresentando uma declividade média de 0,30%.

Os valores do fator R foram fixados em função das condições atuais de manejo da irrigação no perímetro irrigado.

Assim, o tempo de oportunidade no final do sulco é dado pela relação seguinte:

$$R = \frac{T_o}{T_a} \leftrightarrow T_o = R \cdot T_a$$

em que:

R = relação entre o tempo de oportunidade no final do sulco e o tempo de avanço (adimensional)

T_o = tempo de oportunidade no final do sulco (minutos)

T_a = tempo de avanço ao longo do sulco (minutos)

Enquanto o tempo total de irrigação no início do sulco é dado por:

$$T_i = T_a + T_o = T_a + R \cdot T_a = T_a (1 + R)$$

em que:

T_i = tempo total de irrigação no início do sulco (minutos)

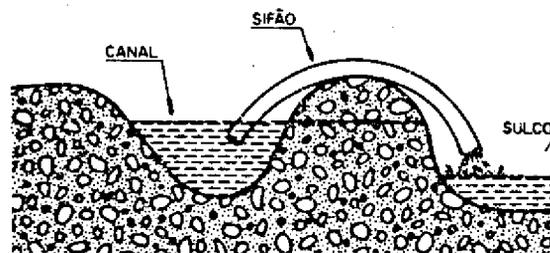


FIG. 1. Seção transversal do canal parcelar c/sifão.

O vertedor empregado é confeccionado em uma chapa de ferro tipo 16, com 50 cm de largura e 20 cm de altura. O vertedor é formado por um triângulo equilátero, com 12 cm de lado, centralizado na chapa de ferro (Fig. 3). Esse vertedor é instalado no final do sulco, de modo a formar uma lâmina de água no sulco com 8 cm de altura.

As vazões de entrada e de saída foram obtidas através de calhas WSC Flume tipo A, instaladas no início e no final do sulco. Os volumes de água aplicados ao sulco e os perdidos por escoamento superficial foram determinados conforme a metodologia recomendada por Hart (1975).

A eficiência de aplicação foi determinada com base na seguinte fórmula:

$$E_i = \frac{V_{az}}{V_a} \times 100$$

em que:

E_i = Eficiência de aplicação (%)

V_{az} = volume armazenado na zona radicular (l)

V_a = volume de água aplicada no sulco (l)

Além desses parâmetros, determinou-se, ainda, vazão de entrada e de saída, avanço e recessão da água no sulco.

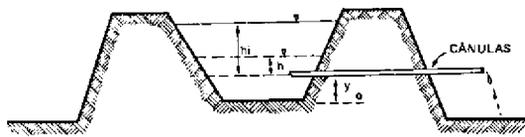


FIG. 2. Seção transversal do canal parcelar c/câmulas

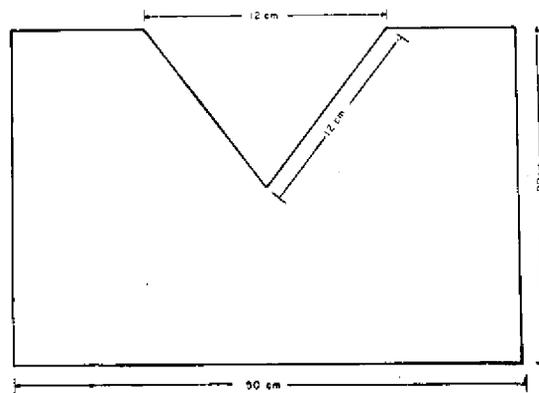


FIG. 3. Vertedor triangular de chapa de ferro tipo 16.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Fig. 4a, 4b, 4c e 4d mostram o comportamento das curvas de recessão da água em sulcos parcialmente fechados (SPF) e abertos (SA), com vazão constante e com redução semi-automática da vazão inicial.

Constata-se pelas Figs. 4a, 4b, 4c e 4d, que o tempo de recessão no SPF é relativamente maior que no SA, tanto com vazão constante quanto com redução da vazão inicial. Constatou-se, também, que o tempo de recessão, no trecho final do sulco no SPF, aumentou bruscamente com o valor de R com vazão constante, enquanto, no SA, a recessão apresentou-se com uma linha quase horizontal.

O aumento do tempo de recessão da modalidade de sulcos parcialmente fechados no final concorre para uma melhoria sensível das eficiências de aplicação e distribuição, tanto com vazão constante quanto com redução semi-automática da vazão inicial (Wu 1972 e Merrian et al. 1973).

A Fig. 5 apresenta o relacionamento do tempo

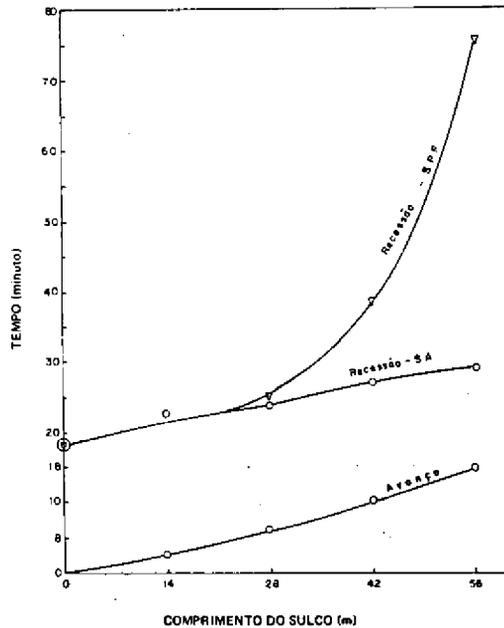


FIG. 4a. Curvas de avanço e recessão em sulcos abertos e parcialmente fechados no final, com vazão constante, para R igual a 0,2.

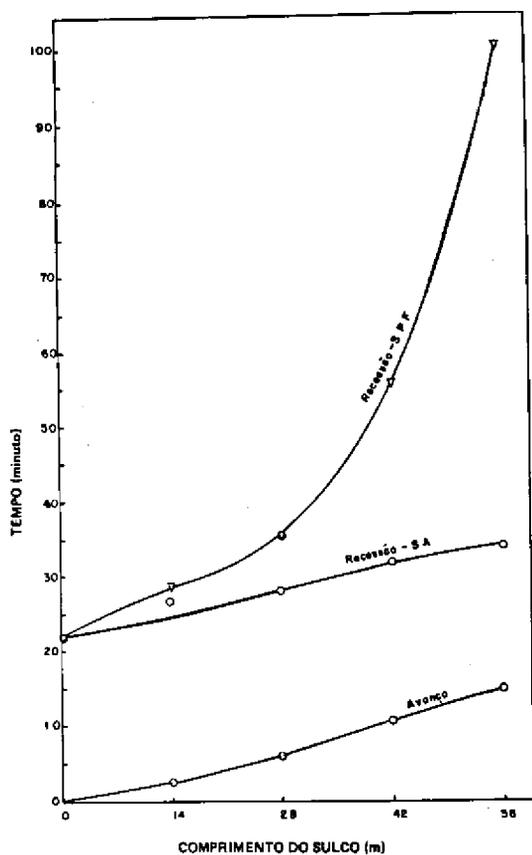


FIG. 4b. Curvas de avanço e recessão em sulcos abertos e parcialmente fechados no final, com vazão constante, para R igual a 0,7.

total de recessão no SPF em função do valor de R, com vazão constante.

Verifica-se, pela Fig. 5, que o tempo total de recessão aumenta de modo notável com o valor de R; isto decorre da tendência de redução da velocidade de infiltração do solo, mesmo em solos do tipo Latossolo. A redução da velocidade de infiltração do solo, condicionada pelo aumento da percentagem de argila na sua composição, pode aumentar, ainda mais, o tempo total de recessão para um mesmo valor de R.

As Figs. 6a, 6b, 6c e 6d apresentam o comportamento da vazão de escoamento superficial no final do sulco, em função do valor de R com vazão constante e com redução semi-automática da vazão inicial.

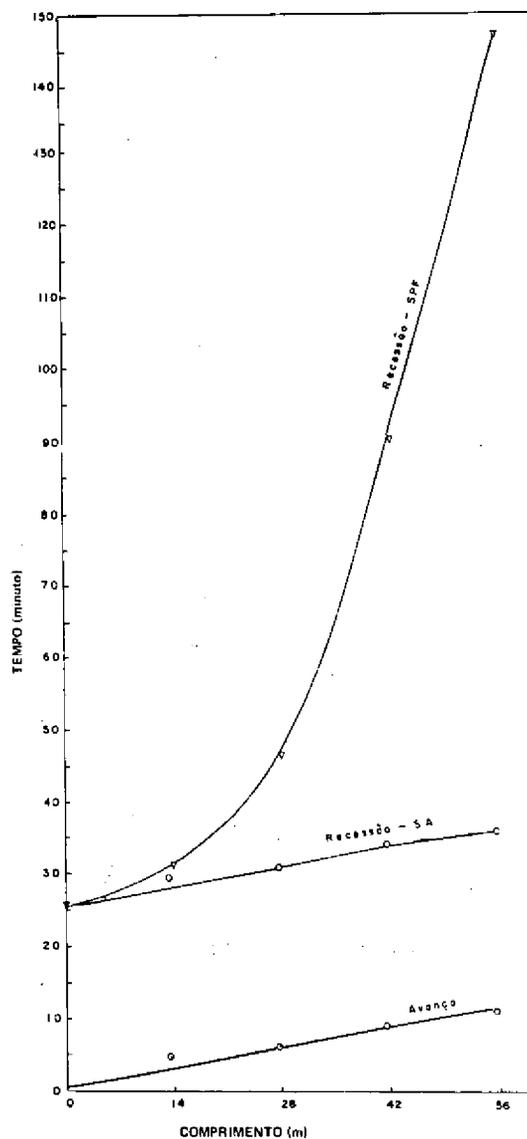


FIG. 4c. Curvas de avanço e recessão em sulcos abertos e parcialmente fechados no final, com vazão constante, para R igual a 1,2.

Observa-se, pelas Figs. 6a, 6b, 6c e 6d, que as vazões instantâneas de escoamento superficial em sulcos abertos mostram-se bastante superiores às do sistema de sulcos parcialmente fechados, quer sob vazão constante quer sob redução semi-automática da vazão inicial. Verifica-se que a vazão de escoamento superficial aumenta quando

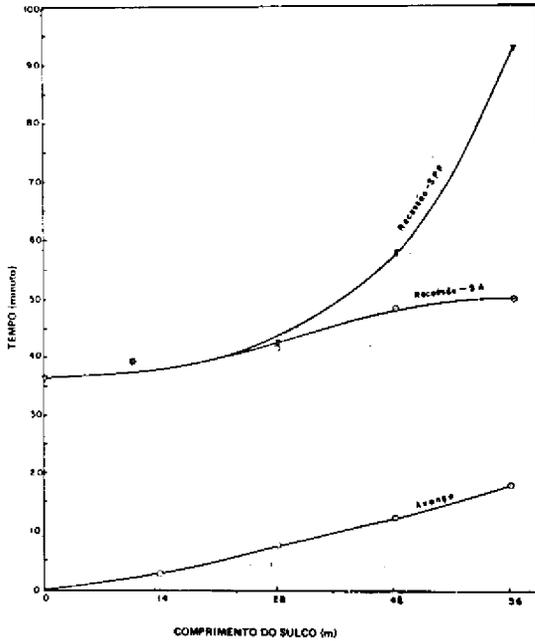


FIG. 4d. Curvas de avanço e recessão em sulcos abertos e parcialmente fechados no final, com redução semi-automática da vazão inicial, para R igual a 1.

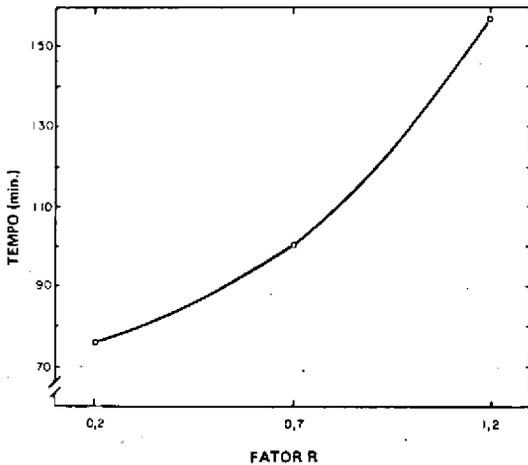


FIG. 5. Relacionamento do tempo total de recessão no sistema de irrigação por sulcos parcialmente fechados em função do fator R, com vazão constante.

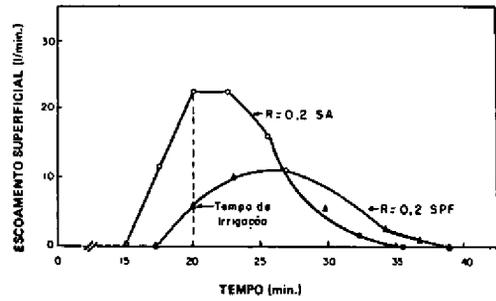


FIG. 6a. Vazão de escoamento superficial no final do sulco, com vazão constante e sulcos abertos ou parcialmente fechados, para R igual a 0,2.

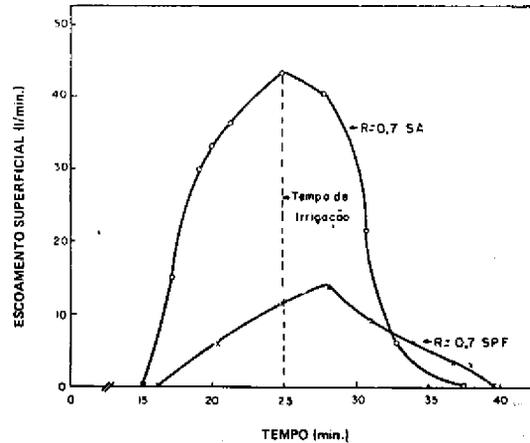


FIG. 6b. Vazão de escoamento superficial no final do sulco, com vazão constante e sulcos abertos ou parcialmente fechados, para R igual a 0,7.

o valor de R cresce, em ambos os sistemas, em decorrência do aumento do tempo de irrigação e da redução da velocidade de infiltração do solo. Observa-se ainda, que o vertedor instalado no final do sulco, tende a retardar o início do escoamento superficial, em virtude da retenção das águas de escoamento superficial, por dois a três minutos, até que o vertedor transborde. O aumento da lâmina de água que flui dentro do sulco condiciona o aumento da vazão de infiltração por metro linear de sulco e, conseqüentemente, a formação de bulbos molhados maiores. Após a interrupção da irrigação, a vazão de escoamento superficial, no SA, atinge seu valor máximo, mas que tende a

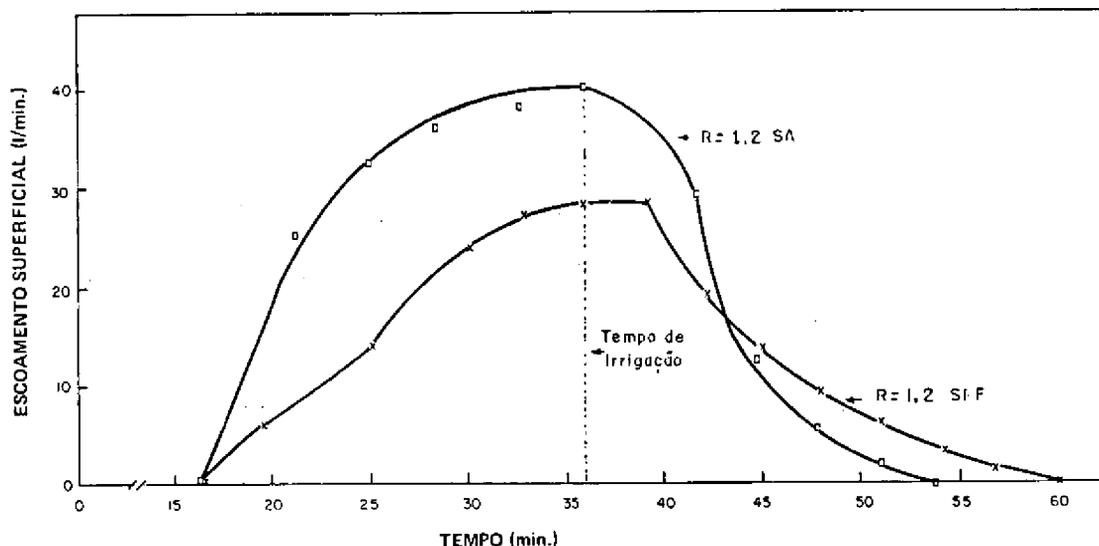


FIG. 6c. Vazão de escoamento superficial no final do sulcos, com vazão constante e sulcos abertos ou parcialmente fechados, para R igual 1,2.

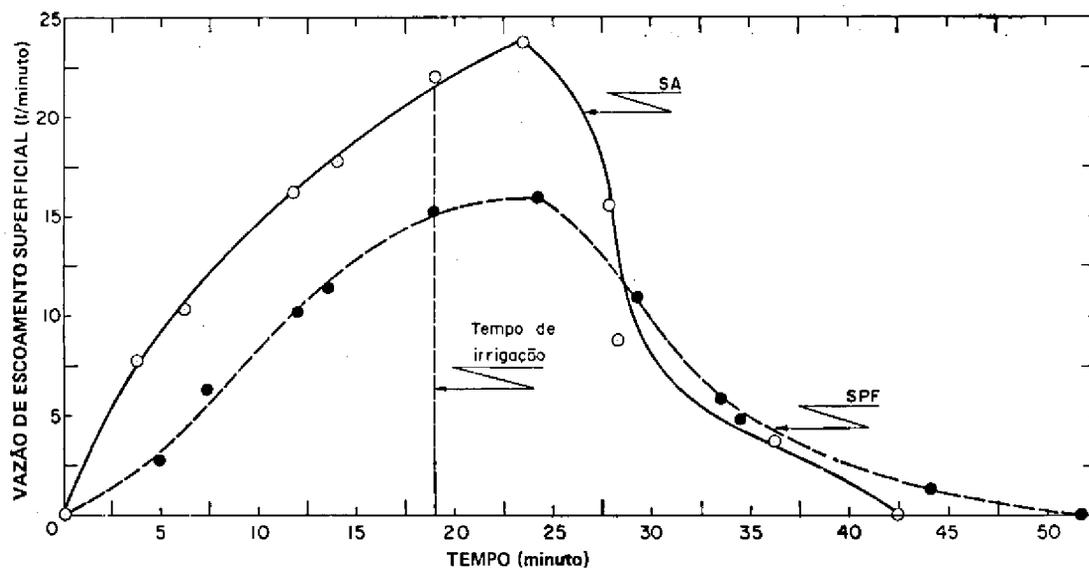


FIG. 6d. Vazão de escoamento superficial no final do sulco, com redução simi-atômica da vazão inicial, e de sulcos abertos ou parcialmente fechados, para R igual a 1.

zero, num intervalo de tempo muito curto, enquanto no SPF, a partir de um determinado tempo, após a interrupção da irrigação, a vazão de escoamento tende a ser maior que no SA, em decorrência da menor velocidade da água no leito do sulco.

Segundo Hamad & Stringham (1978), em solos argilosos, a vazão máxima não-erosiva apresenta-se mais elevada que em solos arenosos, numa mesma declividade de sulco. A velocidade de infiltração nos solos argilosos normalmente é menor que nos solos arenosos (Gavande 1972). Em decorrência

disto, tem-se que, nos solos argilosos, a vazão de escoamento superficial no final do sulco pode apresentar-se ainda maior que os valores obtidos em solo do tipo Latossolo, ao considerar-se os mesmos valores de R.

As Figs. 7a, 7b, 7c e 7d mostram como se comportam as curvas de escoamento superficial acumulado em SA e SPF, em função do valor de R com vazão constante e com redução semi-automática da vazão inicial.

Pode-se constatar, através das Figs. 7a, 7b, 7c e 7d, que o volume de água perdido por escoamento superficial em relação ao volume aplicado no SA é bastante superior ao valor obtido no SPF, para os valores de R considerados, em ambas as vazões,

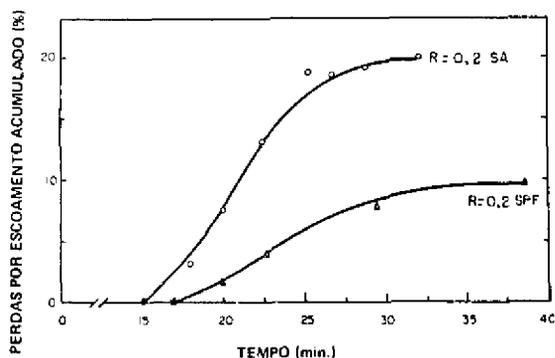


FIG. 7a. Perdas por escoamento superficial acumulado, com vazão constante e sulcos abertos ou parcialmente fechados, para R igual a 0,2.

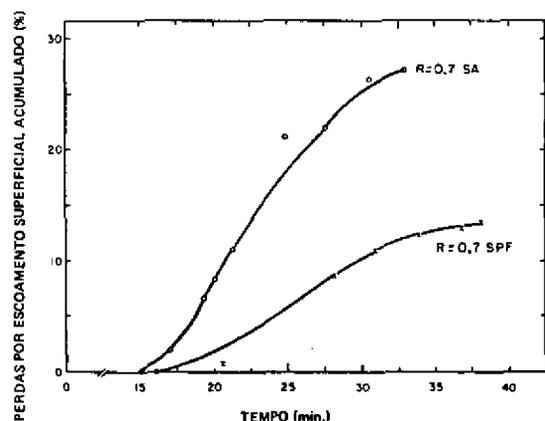


FIG. 7b. Perdas por escoamento superficial acumulado, com vazão constante e sulcos abertos ou parcialmente fechados, para R igual a 0,7.

embora este sistema apresente maior tempo de escoamento superficial.

As perdas de água por escoamento superficial em SPF com vazão constante, em relação às perdas observadas no SA, foram reduzidas em 72,22%; 79,23% e 52,48%, para valores de R iguais a 0,2; 0,7 e 1,2, respectivamente. Por outro lado, para R igual a 1 e com redução semi-automática da vazão inicial, as perdas de escoamento foram decrescidas em apenas 25,07%. Verifica-se, portanto, apesar de ser o tempo de escoamento ligeiramente superior no SPF, as perdas por escoamento em termos percentuais, principalmente para valores de R iguais a 0,2 e 0,7, são bastante superiores nos sulcos abertos, particularmente sob condições de vazão constante. Isto se deve às menores vazões de escoamento condicionada pelo aumento do perímetro molhado do sulco no sistema SPF.

A associação da redução da vazão de escoamento superficial com o volume de água que fica retido no leito do sulco pelo vertedor no SPF é suficiente para compensar o déficit da lâmina de água a ser infiltrada no final do sulco. Isto condiciona melhor uniformização do perfil de umidade do solo na profundidade efetiva da raiz ao longo do sulco.

A Tabela 1 mostra os valores de eficiência de aplicação com vazão constante para sulcos do tipo SA e SPF e para valores de R iguais a 0,2; 0,7 e 1,2 e com redução da vazão inicial para R igual a 1,0.

TABELA 1. Eficiência de aplicação com vazão constante em sulcos do tipo SA e SPF para valores de R iguais a 0,2; 0,7 e 1,2 e redução da vazão inicial para R igual a 1,0.

Fator (R)	Eficiência de aplicação (%) sob vazão constante		
	SA	SPF	Incremento (%)
0,2	76,14	86,99	14,25
0,7	68,82	90,33	31,25
1,0	56,26	80,15	42,63
Eficiência de aplicação sob redução de vazão (%)			
1,0	60,44	77,32	27,93

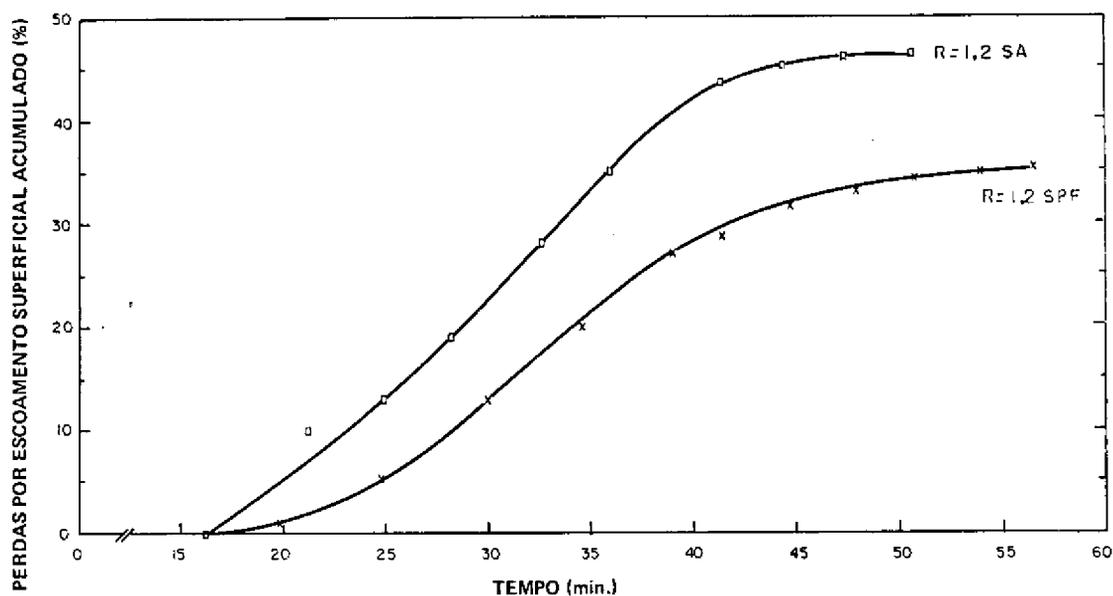


FIG. 7c. Perdas por escoamento superficial acumulado, com vazão constante e sulcos abertos ou parcialmente fechados, para R igual a 1,2.

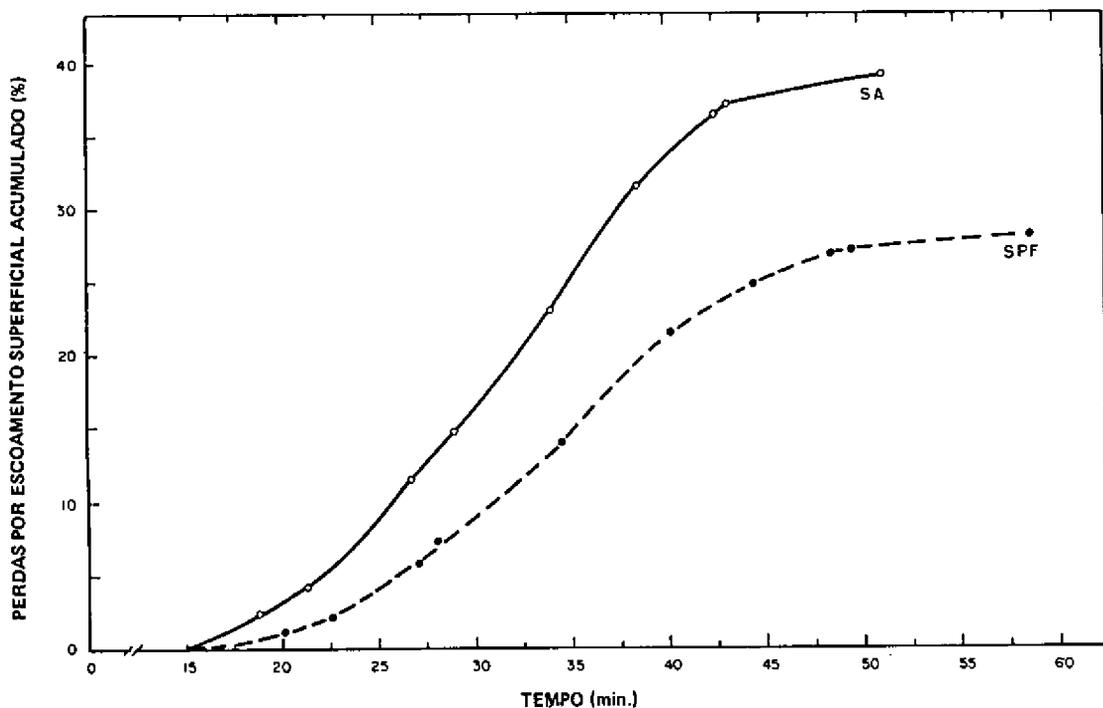


FIG. 7d. Perdas por escoamento superficial acumulado, com redução semi-automática da vazão inicial e sulcos abertos ou parcialmente fechados, para R igual a 1.

Verifica-se, pela Tabela 1, que a eficiência de aplicação em sulcos parcialmente fechados mostrou-se maior do que em sulcos abertos, em ambas as vazões. Em sulcos abertos, esta eficiência tende a decrescer quando o valor de R cresce, enquanto no sistema com sulcos parcialmente fechados a maior eficiência (90,33%) é obtida para R igual a 0,7, quando se mantém a vazão constante durante todo o tempo de irrigação. Verifica-se, também, que o SPF proporcionou um acréscimo na eficiência de aplicação em 14,25%, 31,25% e 42,63%, correspondente aos valores de R iguais a 0,2; 0,7 e 1,2, respectivamente.

Em solos de tipo argiloso, numa mesma declividade de sulco, as vazões máximas não-erosivas tendem a ser maiores que em solos arenosos (Hamad & Stringham 1978). Mas, nesses solos, as velocidades de infiltração tendem a ser menores que em solos arenosos, o que condiciona um aumento das perdas de água por escoamento superficial e, conseqüentemente, menor eficiência de aplicação com mesmo valor de R.

Sakkas & Hart (1968) recomendam que o sistema com redução semi-automática da vazão inicial deve ser manejada para $R = 1,0$. Porém, verificou-se que esse manejo proporcionou eficiências de irrigação praticamente iguais às do sistema de irrigação manejado com vazão constante para $R = 1,2$.

Diante disto, recomenda-se a realização de outros trabalhos em que a redução de vazão seja feita com base no comprimento do sulco. Por exemplo, fazer a redução de vazão quando o avanço alcançar $3/4$ do comprimento do sulco, ao invés de fazê-la quando alcançar o final do sulco.

CONCLUSÕES

1. Constatou-se que o tempo de recessão no sistema de irrigação por sulco parcialmente fechado é relativamente maior que no sistema de irrigação por sulcos abertos no final, com vazão constante ou com redução semi-automática da vazão inicial. Constatou-se, também, que o tempo de recessão no trecho final do sulco do SPF aumentou bruscamente quando o valor de R cresceu.

2. Observou-se que as vazões de escoamento superficial no sistema de sulcos abertos mostraram-se bastante superiores às obtidas no sistema de sulcos parcialmente fechados, tanto com vazão constante

como com redução semi-automática da vazão inicial, em solos do tipo Latossolo.

3. As perdas de água por escoamento superficial no sistema de sulcos parcialmente fechados observadas no sistema de sulcos abertos, foram reduzidas em 72,22%, 79,23% e 52,48%, para valores de R iguais a 0,2; 0,7 e 1,2, respectivamente, enquanto com redução semi-automática da vazão inicial essas perdas foram reduzidas em apenas 25,07%, para um valor de R igual a 1 e em solos do tipo Latossolo.

4. A eficiência de aplicação em sulcos parcialmente fechados mostrou-se bastante maior do que em sulcos abertos, em ambas as vazões. Em sulcos abertos no final, a eficiência de aplicação tende a crescer quando o valor R cresce.

5. No sistema de irrigação com sulcos parcialmente fechados, manejado com vazão constante, condicionou um acréscimo na eficiência de aplicação em 14,25%, 31,25% e 42,63% ($\bar{E}_a = 29,40\%$), correspondente aos valores de R iguais a 0,2; 0,7 e 1,2, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, H.M. Características de infiltração em sulcos abertos e fechados. Campina Grande, UFPB, 1975. 62p. Tese Mestrado.
- GAVANDE, S.A. Física del suelo; principios y aplicaciones. México, Agencia para el Desarrollo Internacional, 1972. 351p.
- HAMAD, S. & STRINGHAM, G.E. Maximum nonerosive furrow irrigation stream size. *J. Irrig. Drain. Div.*, New York, 104(IR3):275-81, 1978.
- HART, W.E. Irrigation reuse systems; a proposed new ASAE engineering practice. St. Joseph, ASAE, 1975. 24p. (Paper, 75-2542).
- LAL, R. & PANDYA, A.C. Furrow irrigation with decreasing in flow rate. *J. Irrig. Drain. Div.*, New York, 96(IR 4):451-60, 1970.
- LÓPEZ, J.E. Riegos por surcos. Petrolina, MINTER, 1973. 46p. Mimeografado.
- MERRIAN, J.L.; KELLER, J. & ALFARO, J.F. Irrigation systems evaluations and improvement. s.l., California State Politech. Coll., 1973. 57p.
- SAKKAS, J.G. & HART, W.E. Irrigation with cut-back furrow streams. *J. Irrig. Drain. Div.*, New York, 96(IR 1):91-6, 1968.
- SOARES, J.M.; BERNARD, S.; BRITO, R.A.L. & FERREIRA, P.A. Análise comparativa entre o uso de vazão constante e redução da vazão inicial e seu efeito na eficiência de irrigação por sulco. *Turrialba*, 31(4):343-50, 1981.
- WU, I.P. Recession flow in surface irrigation. *J. Irrig. Drain. Div.*, New York, 98(IR 1):77-90, 1972.