

ESTUDO DAS CARACTERISTICAS DE AVANÇO E INFILTRAÇÃO DA AGUA
EM SULCOS, EM UM LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO ALICO,
COM APLICAÇÃO DE AGUA CONTINUA E INTERMITENTE

GERALDO MAGELA PEREIRA²
ANTONIO ALVES SOARES³
SALASSIER BERNARDO³
LAIRSON COUTO⁴
REINALDO LUCIO GOMIDE⁴

RESUMO

Conduziu-se uma pesquisa com a finalidade de estudar as características de avanço e infiltração da água em sulcos com aplicação de água contínua e intermitente. Foram testadas as vazões de 0,4, 0,8 e 1,2 l.s⁻¹ e tempos cíclicos de 20, 40 e 60 min com taxa ciclica de 0,5.

A velocidade de avanço aumentou, para a vazão de 0,4 l.s⁻¹, nos três tempos cíclicos, em relação ao escoamento contínuo, e para a vazão de 0,8 l.s⁻¹, nos tempos cíclicos de 40 e 60 min. Entretanto, não houve diferença entre os tempos de avanço com irrigação contínua e intermitente para a vazão de 1,2 l.s⁻¹. Os efeitos da irrigação intermitente foram mais acentuados durante a primeira irrigação. Os volumes de água aplicada para conclusão do avanço foram menores no escoamento intermitente com vazão de 0,8 l.s⁻¹ e tempos cíclicos de 40 e 60 min.

-
- (1) Parte da Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, pelo primeiro autor, para obtenção do grau de "Magister Scientiae".
(2) Eng. Agrícola - Doutorando em Irrigação e Drenagem da UFV - Viçosa.
(3) Eng. Agrônomo Ph.D - Docentes do Dept. de Eng. Agrícola da UFV - Viçosa
(4) Eng. Agrônomo Ph.D - Pesquisadores do CNPMS/EMBRAPA - Sete Lagoas.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: Irrigação por sulcos, Escoamento intermitente.

1. INTRODUÇÃO

As regiões de cerrado no Brasil ocupam uma área de 180 milhões de hectares (cerca de 20% da área total), estendendo-se, principalmente, pela região Centro-Oeste, além de ocupar grandes áreas nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste, e têm sido um componente dos mais importantes na expansão da fronteira agrícola brasileira nos últimos anos. Dos solos sob vegetação de cerrado, 56% são latossolos (EMBRAPA, 1986).

Uma característica importante dessa região, além das características físicas e químicas do solo, é a existência e duração de uma estação seca bem definida, que se estende de abril a setembro. Durante esse período, a exploração racional das culturas só é possível sob irrigação.

Embora devendo o método de irrigação por sulco ser recomendado para áreas onde a velocidade de infiltração seja baixa, está sendo muito comum o uso deste sistema de irrigação na região dos cerrados, onde os solos apresentam, na maioria das vezes, alta capacidade de infiltração, isto certamente deve-se porque tal método está entre os de menor custo, adaptando-se também a quase todas as culturas (Silva et alii, 1984).

Uma das últimas técnicas desenvolvidas para se aplicar em irrigação por superfície, que em alguns solos proporciona aumento na eficiência e uniformidade de distribuição, denomina-se irrigação com aplicação intermitente (Testezlaf, 1986).

A irrigação com aplicação intermitente ("surge flow"), que se

constitui na aplicação de água em intervalos regulares, ao invés da alimentação contínua, tem sido proposta como um meio de melhorar as uniformidades dos sistemas de irrigação por superfície.

Considerando a necessidade de se estudar a irrigação com aplicação intermitente em latossolos onde grande parte dos projetos de irrigação por sulcos no Brasil está implantada, como uma possível alternativa para melhorar a eficiência destes projetos, desenvolveu-se o presente trabalho, com o seguinte objetivo:

Comparar os tempos de avanço e as características de infiltração da água em sulcos obtidos sob regime de escoamentos intermitente e contínuo, em um Latossolo Vermelho-Escuro Álico.

2. MATERIAL E METODOS

O experimento foi conduzido em um Latossolo Vermelho-Escuro Álico, fase cerrado, classificado como muito argiloso, com massa específica do solo de $1,0 \text{ g.cm}^{-3}$, massa específica das partículas de $2,53 \text{ g.cm}^{-3}$ e teores de umidade em peso de 38,1, 29,8 e 24,3% correspondente aos potenciais matriciais de -0,01, -0,07 e -1,5 MPa, respectivamente.

O sulcamento, a adubação e o plantio do milho (*Zea mays*, L.) cultivar BR 201 foram realizados numa operação simultânea, no dia 21 de agosto de 1990. Os sulcos, espaçados de um metro, ficaram com uma profundidade média de 10,5 cm, largura de 41 cm na parte superior, comprimento de 90 m e 0,65% de declividade.

O experimento constou de 12 tratamentos, cada um composto de cinco sulcos, três para medição e dois para bordadura, simulando as condições reais de irrigação no campo.

Trabalhou-se com três vazões (0,4, 0,8 e 1,2 l.s) e quatro tempos de aplicação de água, sendo um tempo contínuo e três cíclicos (20, 40 e 60 min), com taxa cíclica de 0,5. A vazão de entrada nos sulcos era controlada por tubo janelado, previamente calibrado em laboratório. A vazão de entrada e saída dos sulcos foi medida com calhas WSC.

Em cada irrigação eram medidos os tempos de avanço e de recessão em cada uma das três repetições, obtendo-se as equações de avanço e de infiltração, mediante aplicação do modelo do balanço volumétrico (Walker e Skogerboe, 1984). Nos tratamentos com escoamento intermitente, o ajuste das equações de avanço, recessão e infiltração era feito para cada pulso isoladamente.

No dimensionamento da primeira irrigação utilizou-se a equação de infiltração determinada em testes preliminares ao plantio com o infiltrômetro de sulco. Para o dimensionamento da segunda e terceira irrigações considerou-se as equações de infiltração geradas para cada tratamento pelas avaliações da primeira e segunda irrigações, respectivamente.

A umidade média do solo antes da primeira irrigação, na profundidade de 0 a 20 cm, foi determinada pelo método gravimétrico, com quatro repetições, e a lâmina de água aplicada foi de 20 mm, para elevar a umidade do solo até a capacidade de campo.

A irrigação do primeiro tratamento foi efetuado um dia após o plantio, e os demais tratamentos foram irrigados consecutivamente.

A segunda e terceira irrigações foram efetuadas quando o potencial

matricial era de aproximadamente 0,06 MPa, o que conduziu a uma lâmina de irrigação de 15 mm.

O perfil médio dos sulcos foi determinado antes e após cada irrigação, nos três sulcos de cada tratamento, por meio de um perfilômetro, com leituras tomadas nas estacas 30, 50 e 70 m.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Encontram-se no Quadro 1 os tempos gastos para a conclusão da fase de avanço, nas três irrigações consecutivas, para os escoamentos contínuo e intermitente, com tempos cíclicos de 20, 40 e 60 min e vazões de 0,4, 0,8 e 1,2 l.s⁻¹.

Conforme pode ser observado no Quadro 1, na primeira irrigação, para o tempo cíclico de 20 min e vazão de 0,8 l.s⁻¹, a frente de avanço não atingiu o final do sulco, enquanto o escoamento contínuo atingiu em 120 min.

Ainda na primeira irrigação, analisando os tempos cíclicos de 40 e 60 min (Quadro 1), observa-se que para a vazão de 0,8 l.s⁻¹ os tempos de avanço no escoamento intermitente foram 37 e 38% menores, respectivamente, quando comparados com o escoamento contínuo; já para a vazão de 1,2 l.s⁻¹, os tempos de avanço nos escoamentos contínuo e intermitente foram praticamente iguais.

Observando-se os tempos de avanço para a segunda irrigação (Quadro 1), constata-se que houve redução significativa dos mesmos com relação aos obtidos na primeira irrigação para as vazões correspondentes. Esse fato comprova que a primeira irrigação é a mais crítica no que se refere ao avanço da água nos sulcos. Para o tempo cíclico de 20 min e vazão de 0,8

QUADRO 1 - Tempos Gastos para Finalização da Fase de Avanço (min), em Três Irrigações Consecutivas, nos Escoamentos Contínuo e Intermitente

Irrigação	Vazão (l/s)	Escoamento Contínuo	Esc. Intermitente			
			TC=20 min TC=40 min TC=60 min			
			Tempo	Tempo	Tempo	Tempo
1	0,4	*	*	*	*	
	0,8	120	*	76	74	
	1,2	40	38	38	40	
2	0,4	*	*	*	*	
	0,8	78	*	54	60	
	1,2	30	29	31	30	
3	0,4	*	*	*	*	
	0,8	75	*	58	60	
	1,2	30	30	**	30	

* A fase de avanço não foi completada.

** Tratamento não-testado devido a problemas no bombeamento.

-1

1.s , novamente a frente de avanço não atingiu o final do sulco.

Analisando os tempos cíclicos de 40 e 60 min (segunda irrigação), observa-

-1

se que para a vazão de 0,8 l.s os tempos de avanço no escoamento intermitente foram 31 e 23% menores, respectivamente, quando comparados com o escoamento contínuo. Novamente para a vazão de 1,2 l.s , quanto aos tempos de avanço, o escoamento intermitente não resultou em nenhuma vantagem sobre o escoamento contínuo.

Na terceira irrigação, observando-se os tempos de avanço (Quadro 1), nota-se pequenas diferenças em relação à segunda para as vazões correspondentes. Provavelmente a partir da terceira irrigação as características de infiltração da água no solo permanecerão praticamente constantes, quer para o escoamento intermitente ou contínuo.

Possivelmente o baixo desempenho do tempo cíclico de 20 min, para a vazão de 0,8 l.s⁻¹, nas três irrigações realizadas, deveu-se principalmente a dois fenômenos: o primeiro é o "Requerimento de Armazenamento Inativo", citado por Coolidge et alii (1982), que é mais acentuado para menores tempos cíclicos. Esse armazenamento significa o volume de água que deve preencher as áreas de armazenamento do sulco e a sua seção transversal antes que o escoamento possa avançar sobre a sua porção seca. Essas zonas de acumulação da superfície dos sulcos são causadas pelas rugosidades e irregularidades dos sulcos. O segundo fenômeno refere-se ao fato de que o efeito do selamento da superfície do solo, com a aplicação dos pulsos, sobre a capacidade de infiltração foi inferior ao efeito causado pelo aumento do gradiente hidráulico durante os intervalos de tempo em que a água não era aplicada, conforme Samani et alii (1985).

Nas três irrigações realizadas, com vazão de 1,2 l.s⁻¹, os tempos de avanço foram praticamente iguais para os escoamentos contínuo e intermitente, possivelmente isto deveu-se ao fato da fase de avanço ter encerrado após a aplicação de poucos pulsos nas irrigações intermitentes, assemelhando-se assim ao escoamento contínuo.

Os tempos de irrigação e as distâncias alcançadas pela água nos sulcos, ao fim das irrigações, no escoamento contínuo, para as vazões de 0,4, 0,8 e 1,2 l.s⁻¹, em três irrigações consecutivas, encontram-se no Quadro 2, bem como o número de pulsos e as respectivas distâncias alcançadas pela água nas irrigações intermitente, com tempos cíclicos de 20, 40 e 60 min.

QUADRO 2 - Tempo de Irrigação (min) para o Escoamento Contínuo, Número de Pulsos para o Escoamento Intermitente e as Respectivas Distâncias(m) Alcançadas pela Água nos Sulcos ao Fim das Irrigações

Irrigação	Vazão (l/s)	Esc. Contínuo		Esc. Intermitente					
		Tempo (min)	Dist. (m)	TC=20 min		TC=40 min		TC=60 min	
				Pulso	Dist.	Pulso	Dist.	Pulso	Dist.
1	0,4	120	39	12	45	6	52	4	47
	0,8	125	90	12	80	4	90	3	90
	1,2	45	90	4	90	2	90	2	90
2	0,4	120	47	12	55	6	60	4	57
	0,8	88	90	9	80	3	90	2	90
	1,2	40	90	3	90	2	90	1	90
3	0,4	120	60	12	59	6	66	4	64
	0,8	85	90	9	80	3	90	2	90
	1,2	40	90	3	90	*	*	1	90

* Tratamento não-testado devido a problemas no bombeamento.

Observa-se no Quadro 2 que as irrigações realizadas com a vazão de 0,4 l.s não atingiram o final do sulco em nenhuma das três irrigações tanto para o escoamento contínuo quanto para o intermitente e que as distâncias máximas atingidas pela frente de avanço foram maiores no escoamento intermitente, exceto para o tempo cíclico de 20 min na terceira irrigação. As irrigações para esta vazão foram encerradas após a aplicação da água nos sulcos por 120 min, para não estender demasiadamente estas irrigações.

Na Figura 1 são apresentadas as curvas de avanço e recessão para quatro pulsos no escoamento intermitente com tempo cíclico de 40 min e a curva de avanço no escoamento contínuo para a vazão de 0,8 l.s, na primeira irrigação. Observa-se que a água escoava rapidamente sobre o solo

molhado por pulsos prévios, sendo seu escoamento retardado assim que o solo seco era encontrado, resultando em uma trajetória de avanço em forma de "faca".

Os volumes de água aplicada nos sulcos para a conclusão da fase de avanço são apresentados no Quadro 3. Observa-se que na primeira irrigação para vazão de 0,8 l.s⁻¹ e tempos cíclicos de 40 e 60 min a fase de avanço foi concluída com uma economia de água de 37 e 38%, respectivamente, quando comparada com o escoamento contínuo. Na segunda irrigação, uma vez que os tempos de avanço foram inferiores aos da primeira, também os foram os volumes de água aplicada para a conclusão da fase de avanço (Quadro 3). Novamente para a vazão de 0,8 l.s⁻¹ e tempos cíclicos de 40 e 60 min a fase de avanço foi concluída com uma economia de água de 31 e 23%, respectivamente, comparada ao escoamento contínuo.

QUADRO 3 - Volumes de Água (Litros) Aplicada para a Conclusão da Fase de Avanço, em Três Irrigações Consecutivas, Vazões de 0,8 e 1,2 l.s⁻¹, em Condições dos Escoamentos Contínuo e Intermitente

Irrigação	Lamina Aplicada (mm)	Vazões (l/s)	Esc. Contínuo	Esc. Intermitente		
				TC=20	TC=40	TC=60
1	20	0,8	5.760	*	3.648	3.552
1	20	1,2	2.880	2.736	2.736	2.880
2	15	0,8	3.744	*	2.592	2.880
2	15	1,2	2.160	2.088	2.232	2.160
3	15	0,8	3.600	*	2.784	2.880
3	15	1,2	2.160	2.160	**	2.160

* A fase de avanço não foi completada.

** Tratamento não-testado devido a problemas no bombeamento.

Com relação aos volumes de água aplicada para concluir a fase de avanço na terceira irrigação, para a vazão de $0,8 \text{ l.s}^{-1}$ e tempos cíclicos de 40 e 60 min, a economia de água foi de 23 e 20%, respectivamente.

Entretanto, como era esperado para a vazão de $1,2 \text{ l.s}^{-1}$, os volumes de água aplicada para concluir a fase de avanço foram praticamente iguais nos escoamentos contínuo e intermitente nas três irrigações.

Analisando os resultados anteriores, verifica-se que a vantagem do escoamento intermitente reduziu da primeira para a terceira irrigação.

Algumas curvas da velocidade de infiltração da água no solo, representativas para a vazão de $0,8 \text{ l.s}^{-1}$, em três irrigações consecutivas para o escoamento intermitente, com os tempos cíclicos de 20, 40 e 60 min, encontram-se nas Figuras 2, 3, 4, 5.

Observa-se que, no tempo cíclico de 20 min, a velocidade de infiltração da água no solo aumenta em alguns pulsos subseqüentes ao primeiro (Figuras 2, 3), sugerindo que o efeito do aumento do gradiente hidráulico durante os intervalos de tempo em que a água não era aplicada foi superior ao do selamento da superfície do solo. Isto explica o resultado do tempo cíclico de 20 min, em que a irrigação intermitente não proporcionou vantagens sobre a contínua.

Entretanto, para os tempos cíclicos de 40 e 60 min, a velocidade de infiltração da água no solo diminuiu com a aplicação dos pulsos subseqüentes ao primeiro até um certo número de pulsos, tendendo a permanecer praticamente constante a partir de então (Figuras 4, 5), sugerindo que prevaleceu o efeito do selamento da superfície do solo. Esse fato acarretou em menores volumes de água requerida para a finalização da fase de avanço, conforme visto anteriormente.

Os valores da velocidade de infiltração básica para três irrigações consecutivas, vazões de 0,4, 0,8 e 1,2 l.s⁻¹, em condições de escoamentos contínuo e intermitente, com tempos cíclicos de 20, 40 e 60 min, são apresentados no Quadro 4. Observa-se nas três irrigações consecutivas e vazões de 0,4 e 0,8 l.s⁻¹ que os valores da VIB no escoamento intermitente foram menores que no escoamento contínuo para as mesmas vazões e, principalmente, nos tempos cíclicos de 40 e 60 min, o que provavelmente acarretou a economia de água. Para a vazão de 1,2 l.s⁻¹, os valores da VIB praticamente igualaram-se nos escoamentos contínuo e intermitente.

Os valores da VIB diminuíram à medida que se realizaram as irrigações, principalmente no escoamento intermitente e tempos cíclicos de 40 e 60 min nas vazões de 0,4 e 0,8 l.s⁻¹.

QUADRO 4 - Valores da Velocidade de Infiltração Básica (VIB) em m³.min⁻¹.m⁻¹ para Três Irrigações Consecutivas e Vazões de 0,4, 0,8 e 1,2 l.s⁻¹ com Tempos Cíclicos de 20, 40 e 60 min, em Condições dos Escoamentos Contínuo e Intermitente

Irrigação	Vazão (l/s)	Escoamento Contínuo	Esc. Intermitente		
			TC=20 min	TC=40 min	TC=60 min
1	0,4	0,0005442	0,0004890	0,0004683	0,0003627
	0,8	0,0005139	0,0004857	0,0003867	0,0004622
	1,2	0,0005239	0,0005250	0,0005239	0,0004392
2	0,4	0,0005499	0,0003287	0,0002835	0,0003287
	0,8	0,0004654	0,0004377	0,0003609	*
	1,2	0,0004818	0,0005100	*	*
3	0,4	0,0003432	0,0002529	0,0002053	0,0002293
	0,8	0,0004376	0,0003866	0,0003092	*
	1,2	*	0,0005100	**	*

* Tratamento em que a VIB não foi atingida.

** Tratamento não-testado devido a problemas no bombeamento.

4. CONCLUSÕES

- Houve aumento na velocidade de avanço, para a vazão de $0,4 \text{ l.s}^{-1}$, nos três tempos cíclicos estudados em relação ao escoamento contínuo e para a vazão de $0,8 \text{ l.s}^{-1}$, nos tempos cíclicos de 40 e 60 min, comparados ao escoamento contínuo.

- Para a vazão de $1,2 \text{ l.s}^{-1}$, os tempos de avanço foram praticamente iguais para os escoamentos contínuo e intermitente nas três irrigações realizadas.

- Os tempos de avanço reduziram-se da primeira para a terceira irrigação, conseqüentemente a primeira irrigação é a mais crítica no que se refere ao avanço da água nos sulcos.

- Os efeitos da irrigação intermitente foram mais acentuados durante a primeira irrigação.

- Os volumes de água aplicada para conclusão da fase de avanço foram menores no escoamento intermitente para a vazão de $0,8 \text{ l.s}^{-1}$ e tempos cíclicos de 40 e 60 min.

- A velocidade de infiltração ao longo do sulco diminuiu de pulso para pulso, principalmente nos tempos cíclicos de 40 e 60 min.

- Entre os três tempos cíclicos testados, o de 20 min não apresentou vantagens em relação ao tempo contínuo.

ABSTRACT

STUDYING OF THE CHARACTERISTICS OF ADVANCE AND WATER INTAKE IN FURROWS, IN A TYPIC ACRUSTOX, UNDER CONTINUOUS AND SURGE FLOW IRRIGATION

With the objective of studying the characteristics of advance and infiltration, tests were ran with the discharges of 0,4, 0,8 and 1,2 l.s⁻¹ and cycle times of 20, 40 and 60 minutes and cycle ratio of 0,5.

The advance rate under surge irrigation was greater than in the continuous irrigation for the discharge of 0,4 l.s⁻¹, with the three cycle times, and for the discharge of 0,8 l.s⁻¹, with the cycle times of 40 and 60 minutes. However, there was no difference between the advance rate continuous and surge flow irrigation, with the discharge of 1,2 l.s⁻¹.

The surge flow effects were more significant in the first irrigation.

The volume of water required to complete the advance phase under surge flow irrigation were smaller than under continuous irrigation, for the discharges of 0,8 l.s⁻¹ and cycle times of 40 and 60 minutes.

INDEX TERMS: Furrows irrigation, Surge flow.

BIBLIOGRAFIA

1. COOLIDGE, P. S.; WALKER, W. R. ; BISHOP, A. A. Advance and runoff surge flow furrow irrigation. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*. ASCE, 108: 35-42, 1982.
2. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo 1980-1984. Sete Lagoas, MG, 1986, 190 p.
3. REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. 4. ed. Campinas, Fundação Cargill, 1985. 466 p.
4. SAMANI, Z. A.; WALKER, W. R. ; WILLARDSON, L. S. Infiltration under surge flow irrigation. *Trans. of Am. Soc. of Ag. Engr*, 28 (5) : 1539-42, 1985.
5. SILVA, C. L.; VIANA, R. M.; SALES, J. G. C. Eficiência de irrigação por sulcos em um solo sob cerrado. *Revista Item*, Brasília, (17): 27-33, 1984.
6. TESTEZLAF, R. Fluxo intermitente: uma nova idéia em irrigação superficial. *Revista Item*, Brasília, (24) 2-3, 1986.
7. WALKER, W. R.; SKOGERBOE, G. V. The theory and practice of surface irrigation: a guide for study in surface irrigation engineering. Longan, Utah, 1984. 470 p.

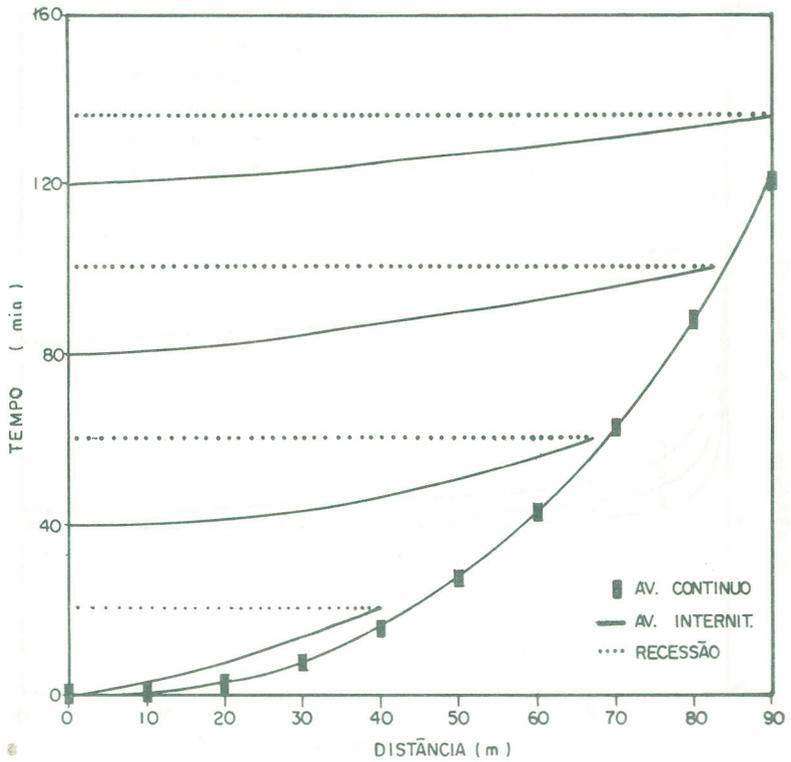


FIGURA 1 - Curvas de Avanço e Recessão para Quatro Pulsos para o Escoamento Intermitente com Tempo Cíclico de 40 min e Curva de Avanço para o Escoamento Contínuo, para a Vazão de $0,80 \text{ l.s}^{-1}$, na Primeira Irrigação

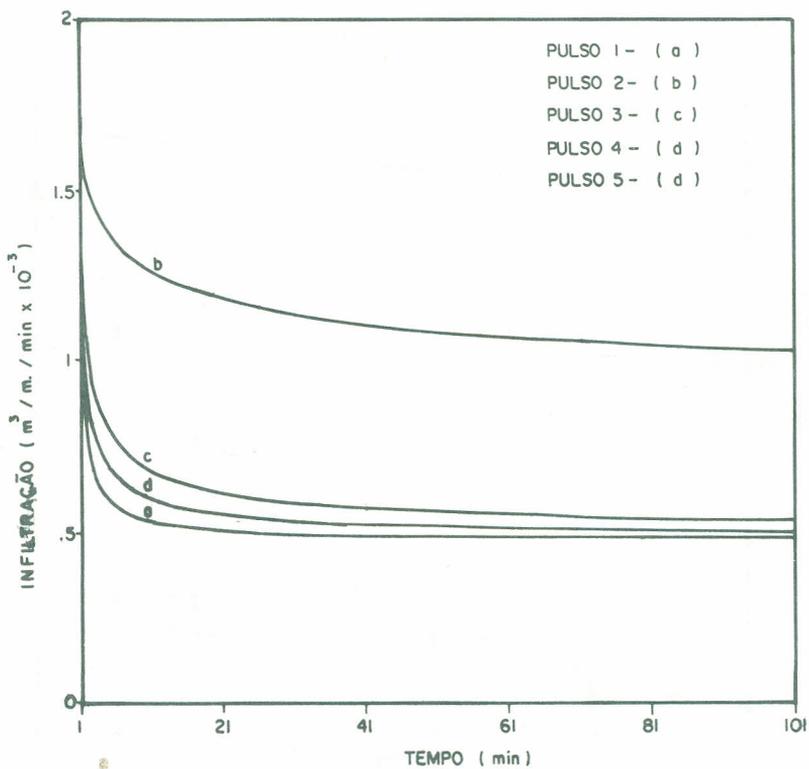


FIGURA 2 - Velocidade de Infiltração da Água no Solo para a Vazão de 0,80
 -1
 l.s , no Escoamento Intermitente com Tempo Cíclico de 20 min,
 em Cinco Pulsos Consecutivos, nas Condições da Primeira
 Irrigação

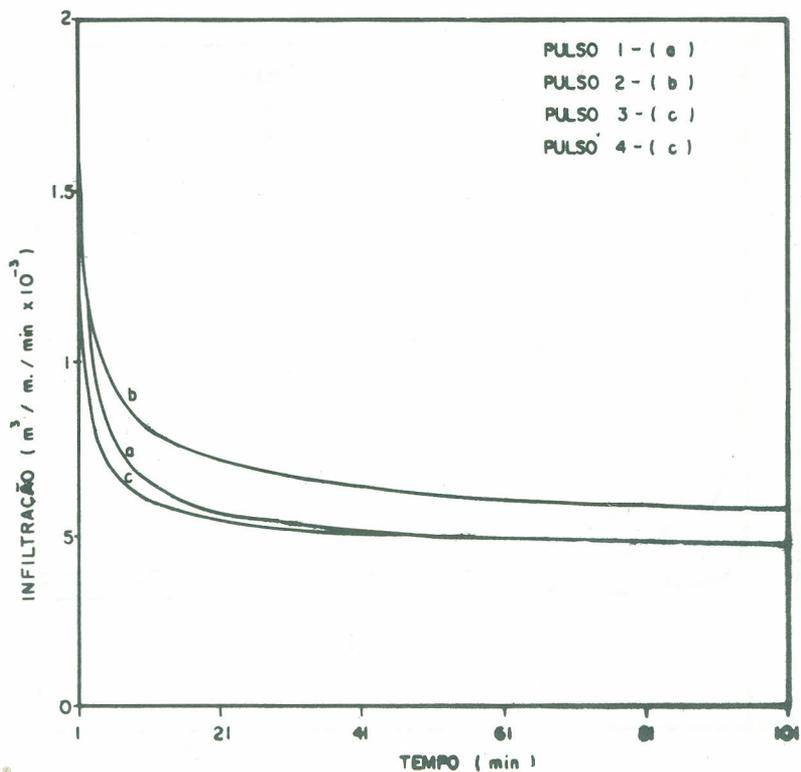


FIGURA 3 - Velocidade de Infiltração da Água no Solo para a Vazão de $0,80 \text{ l.s}^{-1}$, no Escoamento Intermitente com Tempo Cíclico de 20 min, em Quatro Pulsos Consecutivos, nas Condições da Segunda Irrigação

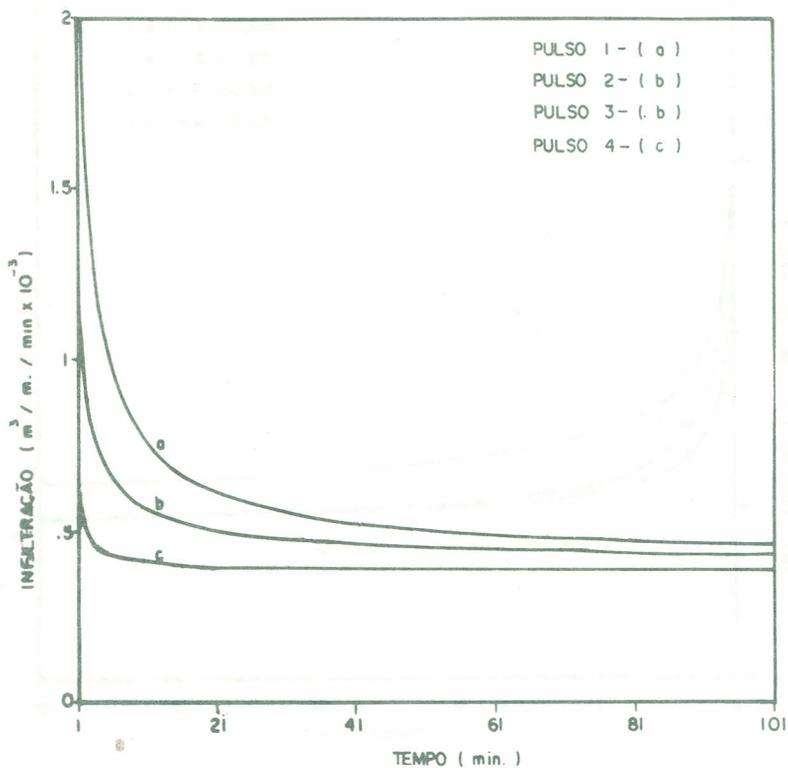


FIGURA 4 - Velocidade de Infiltração da Água no Solo para a Vazão de 0,80
 -1
 l.s , no Escoamento Intermitente com Tempo Cíclico de 40 min,
 em Quatro Pulsos Consecutivos, nas Condições da Primeira
 Irrigação

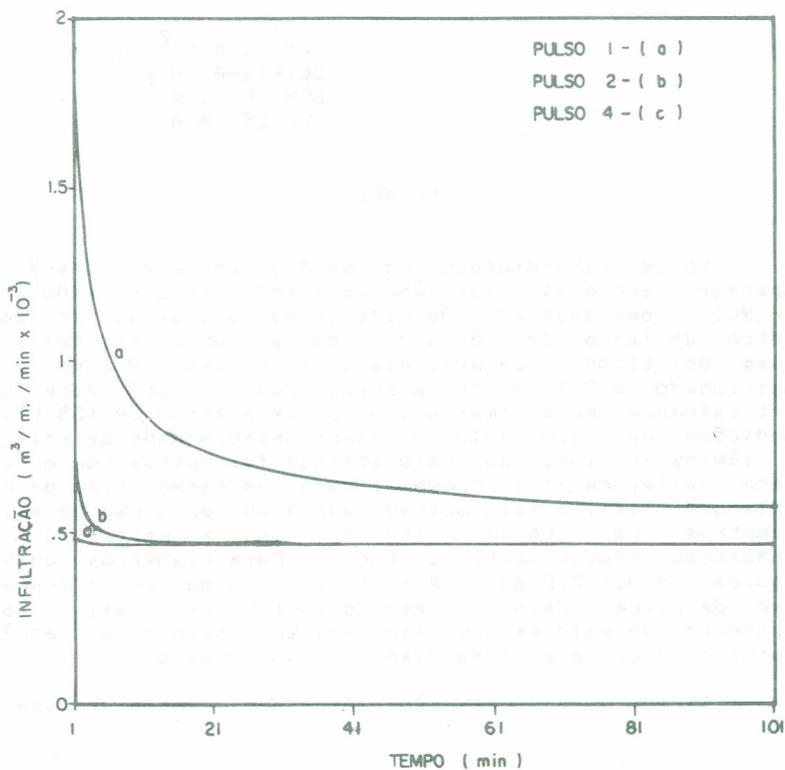


FIGURA 5 - Velocidade de Infiltração da Água no Solo para a Vazão de 0,80
-1
1.s , no Escoamento Intermitente com Tempo Cíclico de 60 min,
em Três Pulsos Consecutivos, nas Condições da Primeira
Irrigação