

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**EFEITO DA VARIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DO TEMPO DE
APLICAÇÃO NO DESEMPENHO DO SISTEMA DE
IRRIGAÇÃO POR SULCOS**

**JOAQUIM JOSÉ DE CARVALHO
ENGENHEIRO AGRÔNOMO**

Campina Grande, PB

1998

JOAQUIM JOSÉ DE CARVALHO

**EFEITO DA VARIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DO TEMPO DE
APLICAÇÃO NO DESEMPENHO DO SISTEMA DE
IRRIGAÇÃO POR SULCOS**

Dissertação apresentada ao curso de
mestrado em Engenharia Agrícola da
Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para obtenção
do grau de mestre em Engenharia Agrícola
Área de concentração: Irrigação e
Drenagem.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Carlos Alberto
Vieira de Azevedo
(UFPB/DEAg)

CO-ORIENTADOR: Aurelir Nobre Barreto
(Embrapa Algodão)

Campina Grande, PB

Agosto, 1998



C331e Carvalho, Joaquim José de
Efeito da variação espacial e temporal do tempo de aplicação no desempenho do sistema de irrigação por sulcos / Joaquim José de Carvalho. - Campina Grande: UFPB, 1998.

102p.: il. tab.

Dissertação (Mestrado) Departamento de Engenharia Agrícola – Universidade Federal da Paraíba.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo

1. Tempo de aplicação 2. Desempenho 3. Sulco I. Título

CDU 631.67



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COPEAG - PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

JOAQUIM JOSÉ DE CARVALHO

Título: "Efeito da Variação Espacial e Temporal do Tempo de Aplicação no Desempenho do Sistema de Irrigação por Sulcos".

COMISSÃO EXAMINADORA

PARECER

Prof. Carlos Alberto V. de Azevedo-Orientador

APROVADO

Prof. José Dantas Neto-Examinador

A PROVA DO

Prof. José Francismar de Medeiros-Examinador

APROVADO

Campina Grande, 31 de Agosto de 1998

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela proteção em todos os momentos de minha vida;

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA-Algodão, pela oportunidade oferecida para a execução da pesquisa;

A Escola Agrotécnica Federal de Sousa – PB, em especial ao diretor Francisco Cicupira de Andrade Filho e ao prof. Everaldo M. Gomes, pelo apoio e confiança em mim depositada no decorrer da pesquisa;

A Coordenação do Curso de Pós-graduação de Engenharia Agrícola da UFPB-CAMPUS II;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pelo apoio financeiro durante a vigência do curso.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo, pela orientação, sugestões e correção nesta dissertação;

Ao Pesquisador Aurelir Nobre Barreto, pelas sugestões, incentivo e amizade;

Aos técnicos em Agropecuária José Carlos, Clodoaldo, Alexandre, Fabrício, Ivo e Márcia Helena, pela colaboração prestada na coleta dos dados de campo;

A minha esposa Jacqueline Henrique, pelo apoio, compreensão e ajuda na conclusão desta dissertação;

A todos os professores e colegas do curso de Pós-graduação que, de uma ou de outra maneira contribuíram para a concretização desta dissertação.

A meus pais Manoel Antonio de Carvalho e
Silvéria Maria dos Santos, **OFEREÇO**.
Com amor, a minha esposa e companheira
Jacqueline Henrique e ao meu filho Manoel
Henrique de Carvalho, **DEDICO**.

*Não nos atreveríamos a pensar que essa obra
é devido algum mérito nosso, pelo contrário,
é de Deus que vem a nossa capacidade.*

(Coríntios 3:5)

SUMÁRIO

	pag.
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
RESUMO	
ABSTRACT	
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Importância e Desempenho dos Sistemas Superficiais	5
2.2. Fase de Avanço	10
2.3. Vazão Aplicada	12
2.4. Tempo de Aplicação d'água	13
2.5. Seção Transversal de Fluxo	14
2.6. Infiltração d'água no Solo	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1. Caracterização do Ambiente da Pesquisa	20
3.2. Características Físico-Hídricas do Solo	22
3.3. Materiais Utilizados	23
3.4. Procedimento de Manejo do Sistema de Irrigação	23
3.5. Parâmetros de Avaliação do Sistema de Irrigação	27
3.6. Programação da Irrigação	29
3.7. Análise Estatística	30

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1. Variações na Vazão de Entrada Inicial e Reduzida	32
4.2. Variações na Seção Transversal de Fluxo	36
4.3. Variações na Infiltração D'água do Solo	43
4.4. Variações no Tempo de Avanço D'água	53
4.5. Variações no Tempo de Oportunidade de Infiltração	66
4.6. Variações no Tempo de Aplicação D'água	69
4.7. Efeito da Variação Espacial e Temporal do Tempo de Aplicação no Desempenho	72
5. CONCLUSÕES	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
APÊNDICE A	90
APÊNDICE B	92
APÊNDICE C	99

LISTA DE FIGURAS

	pag.
FIGURA 1. Ilustração do ambiente da pesquisa	21
FIGURA 2. Esquema da área experimental	22
FIGURA 3. Ilustração da determinação da vazão, através da calha WSC modelo FEX 1-34	25
FIGURA 4. Ilustração da determinação da seção transversal de fluxo do sulco, através do perfilômetro	27
FIGURA 5. Efeito individual da variação dos parâmetros f_0 , k e a na estimativa da infiltração acumulada	49
FIGURA 6. Efeito conjugado da variação espacial e temporal de k e a da equação de Kostiakov-Lewis na infiltração acumulada num solo franco-arenoso	51
FIGURA 7. Variação espacial da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o primeiro evento de irrigação	57
FIGURA 8. Variação espacial da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o segundo evento de irrigação	57
FIGURA 9. Variação espacial da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o terceiro evento de irrigação	58
FIGURA 10. Variação espacial da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o quarto evento de irrigação	58
FIGURA 11. Variação espacial da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o quinto evento de irrigação	59

FIGURA 12. Variação espacial da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o sexto evento de irrigação	59
FIGURA 13. Variação espacial da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o sétimo evento de irrigação	60
FIGURA 14. Variação espacial da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o oitavo evento de irrigação	60
FIGURA 15. Variação espacial da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o nono evento de irrigação	61
FIGURA 16. Variação espacial da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o décimo evento de irrigação	61
FIGURA 17. Variação espacial da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o décimo primeiro evento de irrigação	62
FIGURA 18. Variação espacial da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o décimo segundo evento de irrigação	62
FIGURA 19. Variação temporal da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o sulco de irrigação 01	63
FIGURA 20. Variação temporal da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o sulco de irrigação 02	63
FIGURA 21. Variação temporal da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o sulco de irrigação 03	64
FIGURA 22. Variação temporal da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o sulco de irrigação 04	64
FIGURA 23. Variação temporal da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o sulco de irrigação 05	65
FIGURA 24. Variação temporal da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o sulco de irrigação 06	65
FIGURA 25. Variação espacial e temporal do desempenho do sistema de irrigação por sulcos num solo franco-arenoso	76

LISTA DE TABELAS

	pag.
TABELA 1. Características físico-hídricas médias do solo, obtidas por Andrade (1997)	23
TABELA 2. Calendário das irrigações, turno de rega e lâmina requerida	30
TABELA 3. Variação espacial e temporal na vazão de entrada inicial, $Q_{\text{máx}}$ (l/s), num solo franco-arenoso	33
TABELA 4. Variação espacial e temporal na vazão de entrada reduzida, Q_{red} (l/s), num solo franco-arenoso	34
TABELA 5. Variação espacial e temporal da largura de topo, LT (m), da seção transversal de fluxo média dos sulcos de irrigação num solo franco-arenoso	37
TABELA 6. Variação espacial e temporal da largura a 50% da altura máxima, $L_{50\%}$ (m), da seção transversal de fluxo média dos sulcos de irrigação num solo franco-arenoso	38
TABELA 7. Variação espacial e temporal da largura da base, LB (m), da seção transversal de fluxo média dos sulcos de irrigação num solo franco-arenoso	39
TABELA 8. Variação espacial e temporal da altura máxima, AM (m), da seção transversal de fluxo média dos sulcos de irrigação num solo franco-arenoso	40
TABELA 9. Variação espacial e temporal da velocidade de infiltração básica, f_0 ($\text{m}^3/\text{min}/\text{m}$), num solo franco-arenoso	44

TABELA 10. Variação espacial e temporal do coeficiente “k”, ($m^3/min/m$), da equação de Kostiakov-Lewis num solo franco-arenoso	45
TABELA 11. Variação espacial e temporal do expoente “a” da equação de Kostiakov-Lewis num solo franco-arenoso	46
TABELA 12. Variação espacial e temporal do tempo de avanço, T_{av} (min), no final da área irrigada num solo franco-arenoso	54
TABELA 13. Variação espacial e temporal do tempo de oportunidade de infiltração, τ (min), no final da área irrigada num solo franco-arenoso	67
TABELA 14. Variação espacial e temporal do tempo de aplicação, T_{ap} (min), no final da área irrigada num solo franco-arenoso	70
TABELA 15. Variação espacial e temporal da Eficiência de aplicação, E_a (%), do sistema de irrigação por sulcos num solo franco-arenoso	73
TABELA 16. Variação espacial e temporal da taxa de escoamento, TE (%), do sistema de irrigação por sulcos num solo franco-arenoso	74
TABELA 17. Variação espacial e temporal da taxa de percolação, TP (%), do sistema de irrigação por sulcos num solo franco-arenoso	75

RESUMO

O objetivo principal desta pesquisa foi verificar o efeito de variações, ao longo do tempo e do espaço, no tempo de aplicação d'água no final da área na uniformidade de desempenho de um sistema de irrigação por sulcos do Perímetro Irrigado de São Gonçalo, Sousa-PB, operado sob condições de fluxo reduzido. Para se quantificar as variações espaciais e temporais no tempo de aplicação d'água, como decorrência de variações de outros parâmetros de campo e operacionais, foram realizadas avaliações em seis sulcos, escolhidos de forma a abranger ao máximo variações no sentido transversal da área irrigada, para cada evento de irrigação ao longo da estação de cultivo, onde mediu-se a lâmina d'água requerida, as vazões de entrada e de saída nos sulcos, a fase de avanço e a perfilometria da seção transversal de fluxo nos sulcos. O tempo de oportunidade de infiltração d'água no final da área, foi estimado pela equação de Kostiaikov-Lewis, determinada, em tempo real, a partir do ajuste do avanço simulado ao avanço medido, utilizando-se o modelo matemático computacional SIRTOM. O tempo de aplicação foi, também, determinado em tempo real, dado pela soma dos tempos de avanço e de oportunidade de infiltração d'água no final da área. Utilizou-se o modelo matemático computacional SIRMOD para prognosticar o desempenho do sistema de irrigação. O sistema de irrigação foi operado de forma a se estabelecer a condição de irrigação adequada. Constatou-se um efeito significativo das variações do tempo de aplicação no desempenho do sistema de irrigação. Ao longo do tempo e do espaço, os valores mínimo e máximo da eficiência de aplicação, da taxa de escoamento e da taxa de percolação, foram, respectivamente, 33,1% e 95,3%, 0 e 61,3%, e 0,1 e 66,4%. Essas amplitudes geraram variações espaciais máximas ao longo da estação de cultivo iguais a 33,0%, 162,0% e 140,5%, respectivamente, na eficiência de aplicação, na taxa de escoamento e na taxa de percolação. Espacialmente, as variações temporais foram 26,3%, 78,4% e 233,3%, respectivamente, na eficiência de aplicação, na taxa de escoamento e na taxa de percolação. Este estudo mostra a importância de se fazer um monitoramento sistemático, tanto ao longo do tempo como do espaço, nas variações nos parâmetros de campo e operacionais da irrigação por sulcos, de forma a se ter uma estimativa do desempenho do sistema de irrigação o mais representativa possível das condições globais de campo.

ABSTRACT

The main purpose of this research was to verify the effects of the temporal and spatial variations in the water application time at the end of the field on the performance of a furrow irrigation system from the São Gonçalo irrigation district, operated under cutback flow conditions. For quantifying the spatial and temporal variations in the water application time, as a consequence of others variations in the field and operational parameters, evaluations were performed in six furrows, chosen in a such way to mostly embrace variations in the cross sectional side of the area, for each irrigation event along the crop season. In these evaluations, the water depth required, the furrow inflow and outflow, the advance phase, and the furrow cross sectional area were measured. The infiltration opportunity time at the end of the field was estimated by the Kostiakov-Lewis equation, which was derived, in real-time, from the fitting of the simulated advance to the measured one, using the SIRTOM model. Also, the water application time was determined in a real-time basis, given by the sum of the advance and opportunity times at the end of the field. The SIRMOD model was used to forecast the performance of the irrigation system, which was operated in a way to establish the adequate irrigation condition. The results show a substantial effect of the water application time variations on the performance of the furrow irrigation system. Along the time and space, the minimum and maximum values of the application efficiency, of the runoff ratio and of the deep percolation ratio were, respectively, 33.1 and 95.3%, 0 and 61.3%, and 0.1 and 66.4%. These amplitudes generated maximum spatial variations along the crop season equal to 33.0, 162.0 and 140.5%, respectively, in the application efficiency, in the runoff ratio and in the deep percolation ratio. Spatially, the temporal variations were 26.3, 78.4 and 233.3%. This study shows the importance of performing a spatial and temporal systematic monitoring in the field parameter variations, so that to have an estimation of the irrigation system performance the most representative as possible of the global field conditions.

1. INTRODUÇÃO

A irrigação é um dos fatores decisivos para garantir que as culturas de alta produtividade comportem-se tão bem no campo tal como acontece nos modelos reduzidos de laboratório ou nas estações experimentais, porque o suprimento d'água, mediante esse tipo de infra-estrutura, poderá fornecer uma umidade adequada, no tempo devido, às plantas. Entretanto, a técnica de irrigação quando praticada sem os devidos cuidados, poderá se constituir num desastre em termos de rentabilidade econômica, eficiência de uso d'água, e no tocante aos impactos ambientais. Aspectos técnicos como o controle dos volumes d'água aplicados, da qualidade d'água e da drenagem são extremamente importantes quando pratica-se irrigação. Por exemplo, a drenagem é o princípio básico e fundamental para se ter uma agricultura irrigada sustentável, isto é, que se mantenha satisfatoriamente ao longo das gerações, preservando, sobretudo, os recursos naturais.

Existem vários métodos de aplicação de água no solo, destacando-se, entre eles, o de irrigação por superfície, que é o mais utilizado mundialmente, tendo como vantagem primordial a economicidade na implantação, funcionamento e manutenção, e quando adequadamente dimensionado e manejado, podem apresentar um desempenho comparável a qualquer outro método de irrigação. Desta forma, áreas já irrigadas através dos sistemas superficiais, mas que trabalham com desempenhos abaixo do tecnicamente

aceitável, podem ser ampliadas apenas adequando-se parâmetros que influenciam na eficiência de aplicação, como vazão e tempo de aplicação, garantindo-se, no entanto, condições satisfatórias de umidade às culturas.

O sistema de irrigação por sulcos é indicado para quase todas as culturas cultivadas em linhas, como, por exemplo, algodão, milho, sorgo, etc. Esse tipo de aplicação d'água favorece um maior movimento lateral da água infiltrada, possibilitando um umedecimento mais adequado da zona radicular, diminuindo, conseqüentemente, o potencial para as perdas d'água por percolação. Infelizmente, tem-se observado em alguns perímetros irrigados do Nordeste, que a maioria dos usuários desse sistema, interrompe o fornecimento de água ao sulco, quando a frente de avanço atinge o final da área, por ter em mente que o escoamento superficial no final do sulco representa uma perda de água desnecessária, desconhecendo, portanto, que essa perda, sem excesso, é fundamental para a aplicação da lâmina d'água requerida pela cultura ao longo da área cultivada. Geralmente, estão, também, associados a baixos índices de desempenho do sistema de irrigação por sulcos, os seguintes fatores: o uso, na maioria das vezes, de vazões constantes e inadequadas às características físicas do solo; a deficiência de mão-de-obra qualificada para o manejo; e as variações espaciais e temporais nos parâmetros de campo. Sabe-se que o manejo d'água através de uma vazão constante, oferece grandes riscos à eficiência de aplicação, principalmente em sulcos abertos, quando escolhe-se uma vazão muito grande ou muito pequena.

Quanto às variações espaciais e temporais nos parâmetros de campo, até mesmo em tempo real é possível ter-se um monitoramento delas que favoreça um dimensionamento e manejo adequados (Azevedo, 1992; Santana, 1996), obtendo-se um

desempenho comparável ao dos sistemas pressurizados. Essas variações nos parâmetros de campo e na vazão aplicada, resultam em variações no tempo de aplicação d'água, parâmetro operacional mais importante porque é o mais fácil de ser alterado (manejado). A questão fundamental é que essas variações poderão gerar uma desuniformidade no desempenho dos sistemas de irrigação por sulcos ao longo da área, principalmente quando adota-se erroneamente, para todos os eventos de irrigação da estação de cultivo e para todos os sulcos, valores únicos para os parâmetros operacionais (vazão e tempo de aplicação d'água), ou seja, quando não se corrige, espacial e temporalmente, os parâmetros operacionais de forma a se levar em consideração as variações espaciais e temporais nos parâmetros de campo. Poder-se-á, então, num determinado evento de irrigação, existir diferentes prognósticos do desempenho do sistema numa mesma área, dependendo do local do sulco selecionado para a coleta de dados. Assim sendo, esta pesquisa teve como objetivo principal verificar o efeito dessas variações no desempenho de um sistema de irrigação por sulcos do perímetro irrigado de São Gonçalo, Sousa-PB, visando-se identificar o grau de desuniformidade do desempenho ao longo da área irrigada, em cada evento de irrigação.

Para se alcançar o objetivo principal desta pesquisa, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- 1) Determinar o tempo de avanço ao longo do sulco, a seção transversal de escoamento, a declividade, a vazão de entrada e de saída, e velocidade de infiltração básica, para uma bateria de sulcos, em cada evento de irrigação ao longo da estação de cultivo, exceto para a declividade que foi medida apenas uma vez no início do experimento;

- 2) Determinar, em tempo real, as características de infiltração d'água no solo para cada evento de irrigação, utilizando-se o modelo matemático computacional SIRTOM;
- 3) Quantificar as variações espaciais e temporais no tempo de aplicação d'água, determinado em tempo real para cada evento de irrigação;
- 4) Prognosticar o desempenho do sistema de irrigação por sulcos para cada evento de irrigação, utilizando-se o modelo matemático computacional SIRMOD.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Importância e Desempenho dos Sistemas Superficiais

Apesar da maioria das regiões do Brasil possuírem médias anuais de precipitação pluviométrica acima de 1000mm, com exceção de algumas áreas das regiões semi-áridas, faz-se necessário o uso de irrigação total ou suplementar com o objetivo de suprir as necessidades hídricas das culturas e de lixiviar os sais do solo, principalmente, quando se trata de culturas de alto valor genético e comercial. Verificada a necessidade de irrigar, deve-se escolher o método de irrigação, baseando-se na viabilidade técnica e econômica do projeto e nos seus benefícios sociais. Seria uma leviandade afirmar que, sob o aspecto técnico, um determinado método de irrigação é incondicionalmente melhor do que outro, porque o que existem são condições edafo-climáticas e de manejo que favorecem mais a aplicação de um método em relação a outro. Por exemplo, dada uma condição onde existe um grande potencial de salinização do solo, para se promover, então, uma lixiviação dos sais de seu perfil, os sistemas superficiais parecem ser os mais efetivos. Segundo Bernardo (1995), os sistemas de irrigação por superfície são os de menor custo por unidade de área, os de aspersão de custo médio e os de gotejamento de maior custo. Além da escolha adequada do método de irrigação, necessita-se da aplicação de técnicas de programação de irrigação para indicarem com exatidão o momento e a quantidade de água

a ser aplicada, como também um adequado manejo das redes de distribuição d'água e de seu processo de aplicação (Martin-Benito, 1993). Os benefícios sociais, entretanto, poderão ser alcançados por qualquer método de irrigação, desde que sua escolha, dimensionamento e manejo sejam adequados.

Soares (1985) afirma que o método de irrigação superficial se constitui, sem dúvida, no processo de aplicação de água no solo, mais tradicionalmente usado em todo o mundo, inclusive no Brasil. Conforme Scaloppi (1986), nos Estados Unidos a área total irrigada por esse método é de 65% e no Brasil parece provável ser superior a 80% da área total irrigada. A predominância dos sistemas de irrigação superficial na maioria das regiões irrigadas do mundo, se deve a um menor custo, incluindo os custos fixos e variáveis, bem como a outros benefícios.

De acordo com Daker (1988), os sistemas superficiais permitem uma eficiência de aplicação d'água relativamente alta, podendo atingir até 80% em condições favoráveis. Entretanto, Bos & Nugteren (1974) e Clyma et al. (1975), citados por Azevedo (1992), afirmam que os projetos de irrigação por superfície na sua maioria, em todo mundo, trabalham com eficiências em torno de 40 a 50%. Segundo Merriam (1976), citado por Scaloppi (1986), o uso inadequado e o desconhecimento das potencialidades dos sistemas por superfície têm resultado em reduzida eficiência deles. Por estas razões, eles têm recebido a imerecida reputação de sistemas de baixos níveis de desempenho. Segundo Bernardo (1989), citado por Sousa et al. (1993), o manejo deficiente e a falta de drenagem têm sido as principais causas de insucesso da maioria dos projetos de irrigação no Brasil. Particularmente, a ocorrência de baixos desempenhos do sistema de irrigação por sulcos deve-se, em parte, ao uso de pequenas vazões, que contribuem para uma infiltração excessiva no trecho inicial do sulco e uma infiltração deficiente em seu trecho final

(Bernardo, 1995). De acordo com Garrido (1993), os fatores que contribuem para baixa eficiência de aplicação por sulcos são a diferença em tempo de oportunidade para a infiltração d'água ao longo do sulco, a variabilidade espacial e temporal das características de infiltração e o manejo inadequado. Lima Filho (1996) acrescenta, ainda, que o desempenho da irrigação por sulcos é influenciada por outras variáveis, dentre elas: a vazão de entrada, o tempo de corte da água, o comprimento dos sulcos, a sua declividade e o espaçamento entre eles.

As variações espaciais e temporais nos parâmetros de campo poderão gerar uma desuniformidade no desempenho do sistema de irrigação por sulcos, tanto ao longo da área como ao longo do tempo. Santana (1996) e Santana et al. (1997a), verificaram, num sistema de irrigação por sulcos do Perímetro Irrigado de São Gonçalo-PB, variações, ao longo da estação de cultivo, na eficiência de aplicação, com valores que foram de 41% a 71%, tendo sido seu valor médio sazonal de 62%. Os autores afirmam que sem um manejo sistemático e adequado dos parâmetros operacionais, a partir de um monitoramento das variações espacial e temporal nos parâmetros de campo, essas variações podem comprometer sensivelmente o desempenho dos sistemas de irrigação por sulcos. Para essa finalidade, Santana et al. (1997b,c,d), monitoraram as variações na fase de avanço, nas características de infiltração d'água no solo e na perfilometria dos sulcos.

Saraiva (1986) afirma que na irrigação por sulcos, as perdas de água poderão ocorrer de três formas: por evaporação durante a irrigação; por percolação profunda abaixo da zona do sistema radicular; e por escoamento superficial no final do sulco. O autor afirma, ainda, que as perdas por evaporação normalmente são desconsideradas e as perdas por escoamento superficial, podem ser reduzidas mediante um

manejo criterioso da irrigação, podendo ser aproveitadas em algumas situações, ou eliminadas no caso de sulcos fechados no final, pressupondo-se um manejo adequado dos mesmos. No manejo da água, as perdas por percolação profunda e por escoamento superficial são de grande importância, sendo necessário seu estudo para quantificação e controle (Garrido, 1993). Segundo Olitta (1977), uma alternativa para reduzir as perdas por escoamento superficial no final da área consiste na aplicação de vazão próxima da máxima não erosiva nos sulcos durante a fase de avanço e logo depois reduzi-la.

As perdas por percolação referem-se à quantidade de água que passa por uma superfície unitária horizontal, a uma dada profundidade na massa de solo, que é somente igual a infiltração quando o solo está saturado; em um solo não saturado, a infiltração é igual a soma da percolação e da acumulação de água no solo (Cid Lazo, 1997). Em geral, a baixa eficiência de distribuição d'água está associada com o excesso de percolação no início do sulco (Bernardo, 1978). Henrique (1996) e Henrique et al. (1997a,b,c), estudando a influência dos parâmetros de campo no desempenho dos sistemas de irrigação por sulcos, constataram que eles afetam muito mais a taxa de percolação que a de escoamento superficial, demonstrando, assim, a importância de se exercer um controle sistemático na fase de avanço, considerando que ela é o fator que mais contribui para as perdas por percolação. Santana et al. (1997b) fizeram um monitoramento espacial e sazonal da fase de avanço, objetivando-se seu controle. De acordo com Withers & Vipond (1987), o comprimento do sulco, a ser utilizado em cada tipo de solo, depende das perdas por percolação profunda que serão produzidas por esse parâmetro. Henrique et al. (1997b), verificaram que, num solo franco-arenoso, quando o comprimento do sulco aumentou de 100 para 300m, as perdas por percolação aumentaram de 12,6% a 62,4%. Bernardo (1978) reporta que o excesso de perdas d'água por percolação causa a lixiviação dos nutrientes

hidrossolúveis para as camadas abaixo da zona radicular das plantas, além de problemas de ascensão do lençol freático tanto na área que está sendo irrigada como nas circunvizinhas.

Elliotti et al. (1983), citados por Azevedo (1993), afirmam que podem haver melhorias no dimensionamento e manejo dos sistemas de irrigação superficial, através da simulação do comportamento hidráulico de cada evento de irrigação, evitando-se assim experimentações de campo extensivas, que são onerosas e demandam tempo. Existem, atualmente, diversos modelos matemáticos capazes de simular o processo de irrigação por superfície, que variam em nível de sofisticação, indo de modelos algébricos, baseados no princípio de conservação de massa, a modelos mais complexos como os hidrodinâmicos, que são os mais precisos por solucionarem as equações diferenciais da continuidade e da quantidade de movimento ou energia, denominadas equações de Saint Venant (Carvalho et al., 1994). Segundo Azevedo (1992), o surgimento desses modelos tem contribuído grandemente para uma melhoria no desempenho desses sistemas. Walker & Skogerboe (1987), reportam que os modelos da irrigação por superfície foram largamente melhorados durante as últimas décadas. Muitas soluções numéricas baseadas na equação de Saint-Venant têm sido propostas e extensamente usadas com flexibilidade crescente nas condições de limites. A Utah State University desenvolveu um modelo, denominado SIRMOD (Surface Irrigation Simulation Model), que simula as quatro fases da irrigação superficial e faz prognósticos da performance do sistema. Azevedo (1992, 1997a, 1997b) desenvolveu um modelo de simulação e otimização (SIRTOM – Surface Irrigation Real-time Simulation Model) da irrigação por sulcos, que se constitui numa ferramenta poderosa para o manejo do sistema de irrigação por sulcos, porque, dentre outras aplicações, pode determinar, em tempo real, o tempo de aplicação d'água. Lima Filho (1996) desenvolveu um programa computacional escrito em linguagem Pascoal baseado no modelo do balanço

de volume, que calcula o desempenho de um sistema de irrigação por sulcos abertos e em declive, mostrando a situação do manejo atual e possibilitando alternativas de manejo, através do recurso da simulação. Daré et al. (1996), utilizando dados experimentais obtidos em campo, avaliaram o desempenho do modelo matemático de Levien & Souza (1987), o qual é baseado na equação de balanço volumétrico, para a irrigação por sulcos em declive e com drenagem livre no final da parcela, simulando todas as fases da irrigação; os autores concluíram que o modelo simula satisfatoriamente todas as fases características de um processo típico da irrigação por sulcos.

2.2. Fase de Avanço

Considerável atenção tem sido dada à fase de avanço na irrigação por superfície, devido sua influência no tempo de irrigação ao longo da parcela irrigada (Carvalho et al., 1994). A redução do tempo de avanço, ao longo da área, resulta em um tempo de infiltração mais uniforme ao longo da área, o qual por sua vez resulta em uma lâmina infiltrada mais uniforme se o solo for homogêneo, quanto sua textura, em toda área (Walker & Skogerboe, 1987). Conforme Scaloppi (1986), o início da fase de avanço coincide com o próprio início da irrigação, isto é, no momento em que a vazão é derivada à parcela a ser irrigada, e prolonga-se até que a frente de avanço atinja a extremidade final da área. Neste momento, se o sulco não for fechado no final, começam as perdas d'água por escoamento superficial, como também a lâmina d'água no sulco começa a aumentar, caracterizando, assim, a fase de armazenamento. De acordo com Bernardo (1995), a velocidade de avanço d'água nos sulcos de irrigação é função dos seguintes fatores: vazão aplicada no sulco, capacidade de infiltração do solo, e declividade, rugosidade e comprimento do sulco. Por este motivo, a fase de avanço d'água no sulco, deve ser medida

na área em que se fará a irrigação, ou simulada para as condições de campo dessa área. Essa fase é de difícil simulação devido à natureza do fluxo superficial, caracterizado como não permanente e espacialmente variado, reduzindo-se com a distância, como consequência da infiltração (Scaloppi, 1986).

A fase de avanço possui um comportamento dinâmico ao longo da estação de cultivo, ou seja, está se alterando continuamente, devido às variações temporais nos parâmetros de campo, principalmente as características de infiltração d'água no solo. Por isso um monitoramento sazonal dessa fase é imprescindível para se ter um manejo que favoreça índices satisfatórios de desempenho do sistema. Santana (1996) e Santana et al. (1997b), monitorando a fase de avanço, ao longo da estação de cultivo (isto é, em cada evento de irrigação), num sistema de irrigação por sulcos do Perímetro Irrigado de São Gonçalo-PB, observou que essa fase refletiu variações temporais nas características de infiltração d'água no solo e que seu monitoramento contribuiu substancialmente para balancear as perdas d'água por percolação e escoamento superficial, resultando numa melhoria substancial na eficiência de aplicação de 41% para 71% ao longo da estação de cultivo.

Conforme Enciso-Medina et al. (1998), a maioria dos modelos matemáticos de avaliação da fase de avanço na irrigação por superfície, assumem que as características de infiltração d'água no solo, ao longo da área, são descritas por uma única equação. Entretanto, Bautista & Wallender (1995), citados por Enciso-Medina et al. (1998), e Santana et al. (1997) detectaram, respectivamente, uma considerável variação espacial e temporal na taxa de infiltração nos sulcos irrigados. Esta suposição, normalmente, é feita por conveniência, isto é, para facilitar o procedimento matemático de simulação dessa fase.

2.3. Vazão Aplicada

A vazão aplicada nos sulcos é um dos fatores que mais afeta a eficiência de aplicação e a uniformidade de distribuição d'água. Por exemplo, a aplicação de uma vazão constante, que é a estratégia de manejo mais utilizada, oferece grandes riscos a esses dois aspectos do desempenho do sistema, porque quando escolhe-se uma vazão muito grande a fase de avanço será mais rápida, diminuindo, conseqüentemente, as perdas por percolação e a desuniformidade de distribuição d'água, mas as perdas por escoamento superficial serão, com certeza, excessivas. Por outro lado, ao se escolher uma vazão muito pequena as perdas por escoamento serão minimizadas, em detrimento das perdas por percolação e do grau de desuniformidade de distribuição d'água, que serão desastrosos. O correto será, então, se escolher uma vazão que equilibrem as perdas por percolação e escoamento superficial. O comprimento e declividade do sulco e a erodibilidade do solo, influenciam na escolha da vazão adequada.

Uma outra estratégia de manejo, capaz de evitar os riscos de uma vazão constante, é utilizar uma vazão máxima não erosiva durante a fase de avanço, minimizando assim as perdas por percolação, e bem ao término dessa fase reduzir essa vazão a um valor um pouco superior à capacidade de infiltração básica do solo, para minimizar, também, as perdas por escoamento. Por questões de disponibilidade de vazão e de operacionalidade, nem sempre a estratégia de vazão reduzida poderá ser aplicada. O sistema de irrigação por sulcos com redução semi-automática da vazão inicial, apresenta-se com grande potencial, diante das condições atuais das áreas irrigadas do Nordeste (Soares et al., 1981). O autor afirma, ainda, que o uso de vazões constantes e inadequadas às características físicas do

solo é um dos fatores responsáveis pelas baixas eficiências de irrigação alcançadas nos perímetros irrigados por sulcos do Nordeste Brasileiro.

Um outro aspecto da vazão aplicada é a possibilidade dela variar ao longo da área, como decorrência da falta de um controle adequado do fluxo de água nos canais de condução. Esse controle deve ser feito por meio de estruturas medidoras de vazão e de controle da carga hidráulica, localizadas nos canais principais e de derivação. Geralmente são estruturas dos tipos vertedores, calhas e comportas. Poderá, também, contribuir para essa variação, a presença de sujeiras na água, que obstruem parcialmente os sifões, alterando suas vazões.

2.4. Tempo de Aplicação d'água

Na irrigação por sulcos, um tempo de aplicação adequado seria dado pela soma do tempo de avanço no final do sulco e o tempo de oportunidade de infiltração requerido para se aplicar a lâmina desejada. O ideal é que o tempo de aplicação seja avaliado, em tempo real, para cada evento de irrigação por sulco, devido à variações espaciais e temporais nos parâmetros de campo. De acordo com Walker (1989), Childs et al. (1993), citados por Carvalho et al. (1995) e Enciso-Medina et al. (1998), as características de infiltração d'água no solo é o parâmetro que mais influencia o tempo de aplicação d'água. Raghuwanshi (1994), citado por Raghuwanshi & Wallender (1996), mostrou que a heterogeneidade das características de infiltração ao longo da área afetou fortemente a otimização do tempo de aplicação, bem como da vazão e da aplicação da lâmina requerida. Santana (1996) e Santana et al. (1997a), realizando um monitoramento sazonal do desempenho de um sistema de irrigação por sulcos do Perímetro Irrigado de

São Gonçalo-Pb, avaliaram o tempo de aplicação d'água em cada evento de irrigação, verificando, então, a necessidade de ajuste desse parâmetro para compensar as variações temporais, principalmente nas características de infiltração d'água no solo.

2.5. Seção Transversal de Fluxo

Segundo Daker (1988), a forma geométrica da seção transversal dos sulcos, incluindo sua profundidade, é muito importante na eficiência e adequabilidade da irrigação; essa seção deve sempre que possível, basear-se no tipo de solo e da cultura e na declividade do sulco. Para os solos com baixa capacidade de infiltração e com sulcos de pequena declividade, sua seção deve ser maior na largura que na profundidade. Para sulcos com maiores declividades, sua seção deve ser de preferência, em forma de v.

Os parâmetros geométricos da seção transversal do sulco são necessários na caracterização do fluxo, através de equações de escoamento superficial. Por exemplo, a área da seção transversal é requerida para calcular o armazenamento superficial d'água e a velocidade de fluxo, a profundidade para calcular a elevação da água e, assim, o declive da superfície de fricção, utilizado nos modelos zero-inércia e hidrodinâmico, e a razão de infiltração tem relação com o perímetro molhado (Trout, 1991).

A geometria da seção transversal de sulcos é de grande importância quando se avalia as características de fluxo e armazenamento superficial d'água, principalmente na irrigação por sulcos. Para cada sulco selecionado deve-se medir a seção transversal em duas ou três estações (Walker & Skogerboe, 1987). Há uma variedade de técnicas para medir a seção transversal de fluxo do sulco no campo. Walker & Cahoon (1989), citados

por Cahoon (1995), descrevem simples perfilômetros com barras corrediças que podem ser usados para medir a profundidade do sulco em diferentes posições. De acordo com Machado et al. (1996), a constituição, a precisão e o espaçamento entre as hastes do perfilômetro variam de equipamento para equipamento, sendo que uma das maiores limitações desse equipamento é a tomada trabalhosa e demorada de dados no campo. Walker (1989), citado por Carvalho et al. (1995), utilizando nove perfis de sulcos (três triangulares, três parabólicos e três trapezoidais), desenvolveu uma metodologia que objetiva caracterizar a forma geométrica do sulco, podendo ser feita essa caracterização pela análise visual no campo.

De acordo com Carvalho et al. (1995), o advento do uso de modelos matemáticos computacionais possibilitou a introdução do perfil geométrico do sulco nas simulações que visam o dimensionamento e avaliação do sistema de irrigação. Descrições matemáticas empíricas da seção transversal de sulcos são usadas em muitas formulações de modelos, muitas vezes, como meio de se reduzir a quantidade de informações a serem fornecidas pelos usuários desses modelos, necessárias à obtenção da solução (Cahoon, 1995). Uma opção nos modelos SIRTOM e SIRMOD, consiste em o usuário fornecer apenas a forma da geometria do sulco e aquelas dimensões básicas de sua seção, como as larguras do topo e a 50% da altura de topo e a base. Com essas informações esses modelos ajustam equações do tipo potencial para descrever a seção. Outra opção, é permitir ao usuário introduzir parâmetros geométricos empíricos, externamente calculados, para definir a seção transversal. O modelo SRFR (Strelkoff, 1993), pode ser usado para definir a simetria trapezoidal, ou para entrar com os valores de parâmetros que estabelecem a relação entre profundidade de fluxo e largura de topo (Cahoon, 1995). No modelo do balanço de volume de Elliott & Walker (1980), esses autores relacionam, através de

equações do tipo potencial que possuem parâmetros geométricos determinados empiricamente, a área da seção transversal e seu perímetro molhado em função da profundidade de fluxo. Essas relações são utilizadas na equação de Manning para a elaboração da equação do balanço de volume.

De acordo com Olitta (1977), o primeiro evento de irrigação modifica sensivelmente a seção transversal do sulco, tendendo a ser parabólica em solos de textura média e triangular ou trapezoidal em solos de textura fina. Conforme Brown et al. (1988), citado por Andrade et al. (1998), a forma do sulco muda devido a ação, principalmente, da água nas partículas do solo, onde pequenos torrões quebram-se, se movem e são redepositados pelo movimento da água; os agregados do solo seco se desfazem à jusante e são rapidamente molhados pelo avanço da água no sulco, devido a força de cisalhamento e pelo próprio fluxo da água; os pequenos aglomerados resultantes, juntamente com as partículas soltas de solo, rolam ao longo do fundo do sulco, enchendo as rachaduras ou cavidades existentes no seu perímetro.

Henrique (1996) e Henrique et al. (1997d), monitorando ao longo do tempo e do espaço as características geométricas da seção transversal de sulcos de um sistema de irrigação do Perímetro Irrigado de São Gonçalo-PB, num solo de textura franco-arenosa, observaram variações espaciais e temporais nas dimensões básicas da seção transversal, ocorrendo, em geral, um aumento nas larguras da base, do topo e a 50% da altura de topo, acompanhado de uma diminuição nessa altura; devido a essas variações a geometria do sulco tendeu a uma forma parabólica. Em estudo similar no mesmo perímetro irrigado, mas num solo de classificação textural franco, Santana (1996) e Santana et al. (1997d), também identificaram variações tanto espaciais como temporais na seção transversal de fluxo dos

sulcos, onde a sua base foi a dimensão que mostrou-se mais vulnerável a alterações ao longo da estação de cultivo, com variação de 63%.

2.6. Infiltração d'água no Solo

A velocidade de infiltração determina o volume de água que penetra no solo nas unidades de área e tempo, bem como o potencial para escoamento superficial que pode ocorrer por excesso de irrigação ou por chuvas de grande intensidade (Klar, 1991). Esse é o parâmetro que mais afeta a irrigação por superfície, porque além de influenciar na quantidade de água que entra no solo, afeta diretamente a taxa de avanço d'água sobre o solo (Walker & Skogerboe, 1987).

Existem inúmeras equações que descrevem o processo de infiltração d'água no solo, mas Clemmens (1983), citado por Scaloppi et al. (1995), recomenda o uso das equações de Kostiakov ou Kostiakov-Lewis para propósitos de dimensionamento, avaliação e manejo de irrigação, porque elas descrevem razoavelmente bem esse processo. Philip (1957), citado por Camacho et al. (1997), faz menção de que a equação de infiltração mais simples (Kostiakov) prediz muito bem a infiltração d'água no solo apenas quando os tempos de infiltração são pequenos. Por isso é que a equação de Kostiakov-Lewis foi concebida, introduzindo-se um termo de infiltração constante na expressão de Kostiakov, para descrever, adequadamente, a infiltração quando os tempos forem muito longos. De acordo com Santana (1996) e Santana et al. (1997c), os coeficientes da equação de Kostiakov-Lewis dependem, além da textura e estrutura do solo, de sua condição física no momento da irrigação, como por exemplo a existência de fendas e o conteúdo de umidade inicial. Os parâmetros k e f_0 expressam a taxa de variação na quantidade de água

que se infiltra ao longo do tempo, enquanto que o expoente a descreve o grau de variação não-linear entre a lâmina infiltrada e o tempo de oportunidade de infiltração.

Segundo Smith & Dulce (1984), citados por Azevedo (1992), as características de infiltração d'água no solo, são, particularmente, difícil de serem medidas em campo com precisão, porque seus valores, além de dependerem das propriedades físicas do solo, são muito influenciados pelas variabilidades espaciais e temporais nos parâmetros de campo inerentes à hidráulica da irrigação superficial. Rivera (1995) afirma que a dificuldade em se caracterizar a infiltração no solo é um grande problema no dimensionamento dos sistemas de irrigação por superfície, porque torna crítica a determinação da vazão e do tempo de aplicação d'água. Enciso-Medina et al. (1998) reporta que a variação no teor de umidade inicial do solo contribui para a variação espacial da taxa de infiltração. O autor afirma, ainda, que a taxa de infiltração é fortemente afetada pelo desenvolvimento de crostas (selamentos) impermeáveis na superfície.

Segundo Azevedo (1993), o dimensionamento e manejo dos sistemas de irrigação por superfície torna-se complicado devido às dificuldades que existem em medir as variações espaciais e temporais nos parâmetros de campo especialmente nas características de infiltração do solo. De acordo com Warrick (1983), citado por Azevedo (1992), a infiltração medida diretamente por anel infiltrômetro tem um valor limitado, por tratar-se de um valor pontual, não representando, geralmente, as características de infiltração em grandes áreas. Um outro aspecto, é que a maior parte desses infiltrômetros medem a infiltração somente numa dimensão; no entanto, as condições de sulcos de irrigação possuem no mínimo duas dimensões nas características de infiltração. Busman, (1987), citado por Azevedo, (1992), reporta sobre uma outra forma de determinar a infiltração, que é através de hidrográficos de entrada e saída de sulcos de irrigação. O

método compara o fluxo de entrada com o de saída em um sulco. A vantagem dessa técnica é uma abrangência maior na representatividade das características de infiltração assim determinadas, bem como a facilidade e flexibilidade das medições do fluxo sempre que se irrigar. Por outro lado, sua grande limitação é que as informações, para essa finalidade, tornam-se completamente disponíveis somente quando o solo atinge sua capacidade de infiltração básica, não havendo, então, a possibilidade de se conhecer as características de infiltração, mesmo ainda durante a fase de avanço, objetivando-se prognosticar o desempenho do sistema de irrigação e realizar, caso necessário, alterações nos parâmetros operacionais, tendo em vista um alto índice de desempenho. Azevedo (1992) desenvolveu um modelo matemático computacional, denominado SIRTOM (Surface Irrigation Real-Time Optimization Model), que determina as características de infiltração do solo a partir do ajuste do avanço simulado ao avanço medido. Essa determinação ocorre durante a fase de avanço, possibilitando promover-se melhorias no desempenho do sistema de irrigação num tempo real hábil.

Henrique (1996) e Henrique et al. (1997a), estudando o efeito das características de infiltração de um solo franco-arenoso no desempenho de um sistema de irrigação por sulcos, verificaram que quando a infiltração decresceu de 0,168 para 0,094 m³/m, o tempo gasto para a água avançar até o final da área decresceu 450 min, resultando num aumento da eficiência de aplicação de 32,9 para 60,5%. Os autores recomendam, então, a realização de um monitoramento sazonal, em tempo real, dessa fase por ser ela o fator que mais contribui para as perdas por percolação, comprometendo, assim, a eficiência de aplicação.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização do Ambiente da Pesquisa

Para quantificar a variabilidade, tanto espacial como temporal, no tempo de aplicação d'água no final da área irrigada, objetivando-se verificar o efeito dessa variabilidade na uniformidade de desempenho de um sistema de irrigação por sulcos da estação experimental da Embrapa Algodão, localizada no Perímetro Irrigado de São Gonçalo-PB. Foram realizadas avaliações de campo na parcela agrícola 8B (ver figura 1), durante toda a estação de cultivo, isto é, em cada evento de irrigação, nas quais coletou-se dados em seis sulcos equidistantes ao longo da largura da área.

O respectivo perímetro de irrigação localiza-se na ecorregião fisiográfica do Alto Sertão, numa bacia hidrogeológica do período quaternário. Geograficamente, a área apresenta as seguintes coordenadas: latitude de 06°45'S, longitude de 38°13'W e altitude de 233m. A região é de clima quente, com chuvas de verão-outono. Conforme Normais Climatológicas, 1961 – 1990 (1992) a temperatura média é de 26,4°C, sendo as mais baixas registradas nos meses de maio a junho (23,4°C), enquanto em novembro e dezembro ocorrem

as mais elevadas do ano ($27,9^{\circ}\text{C}$). A umidade relativa média do ar é de 61% e a pluviometria média anual é de 1000,3mm.

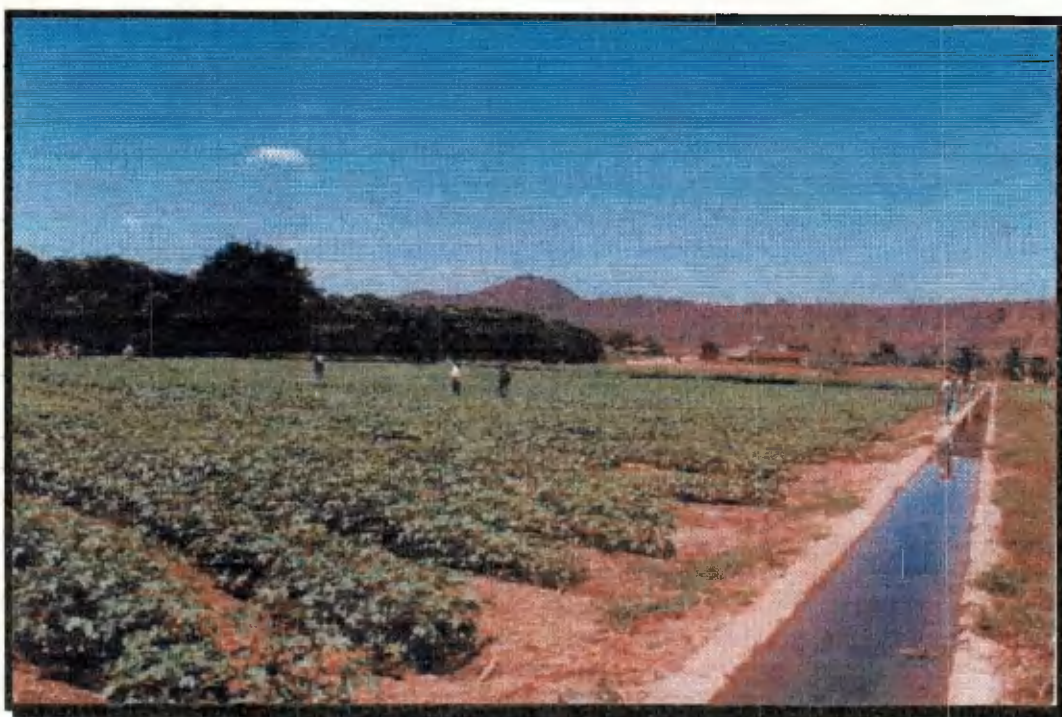


FIGURA 1. Ilustração do ambiente da pesquisa

A área experimental (Figura 1), cultivada com algodão, mede 0,62 ha, foi sistematizada com declividade de 0,004 m/m no sentido longitudinal e 0,001 m/m no sentido transversal, a partir de cálculos de movimentação de terra realizados pelo software SISTEMAT, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa. A área possuía 53 sulcos com espaçamento de 1,6m e comprimento de 73m. Foi atribuída à rugosidade da superfície do solo um valor igual a 0,013, utilizado por Azevedo (1992), em seu modelo SIRTOM, por ter achado ser esse valor que mais contribuiu para minimizar as discrepâncias entre o tempo de avanço simulado e o medido. Para as avaliações, foram utilizados 6 sulcos equidistantes,

distribuídos ao longo de toda a área, de forma a abranger ao máximo as variações espaciais e temporais, no sentido transversal da área, nos parâmetros de campo que resultam em variações no tempo de aplicação d'água no final da área.

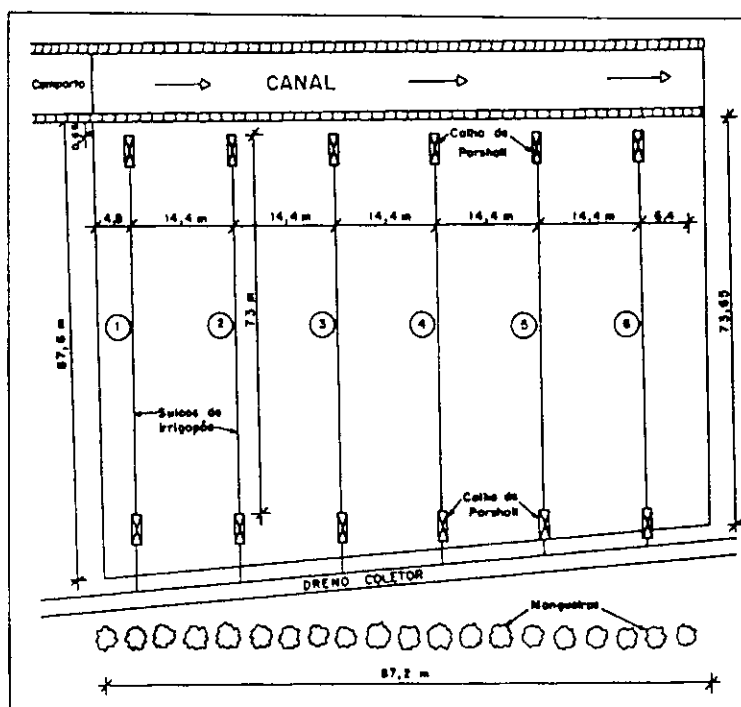


FIGURA 2. Esquema da área experimental

3.2. Características Físico-Hídricas do Solo

Neste estudo foram utilizados os resultados da análise das características físico-hídricas do solo realizada por Andrade (1997), apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Características físico-hídricas médias do solo, obtidas por Andrade (1997)

Descrição dos Parâmetros	Profundidade do Solo (mm)	
	0-300	300-600
Areia (%)	57,55	62,93
Silte (%)	29,28	22,90
Argila (%)	12,49	9,23
Classificação textural	Franco-arenoso	Franco-arenoso
Capacidade de campo (%)	16,47	11,10
Ponto de murcha (%)	7,62	5,32
Água disponível (%)	8,85	5,78
Densidade global (g/cm ³)	1,48	1,34
Densidade das partículas (g/cm ³)	2,62	2,62
Porosidade		
Total (%)	43,51	48,85
Drenável (%)	27,04	37,75

3.3. Materiais Utilizados

Para a obtenção dos dados de campo, foram utilizados instrumentos e materiais necessários à operacionalização das tarefas de campo, como sifões, trena métrica, estacas topográficas, nível de engenheiro, calhas do tipo Parshall e WSC, instaladas na entrada e na saída dos sulcos, perfilômetro, computador e softwares.

3.4. Procedimento de Manejo do Sistema de Irrigação

A condução de água na área experimental realizou-se através de um canal de concreto, sendo a adução de água aos sulcos feita por meio de sifões de plásticos de 25,4 mm

(1,0 polegada) de diâmetro. Em cada evento de irrigação, utilizou-se para cada sulco dois sifões durante a fase de avanço e um sifão na fase de armazenamento, obtendo-se com isto uma taxa de redução de fluxo em torno de 50%. Durante os testes de campo, foram feitas as seguintes mensurações: vazão de entrada e de saída, tempo de avanço, velocidade de infiltração básica e a perfilometria da seção transversal de fluxo.

As vazões de entrada e de saída nos sulcos de irrigação foram estimadas por equações de calibração, a partir de medições da altura de fluxo feitas através de calhas Parshall modelos H26-1 e H26-2 e calhas WSC modelo FEX 1-34 (Figura 3). Inicialmente essas medições eram feitas a cada um minuto até se verificar que a altura de fluxo tornou-se praticamente constante, e a partir daí as medições passaram a ser feitas a cada 10min; entretanto, quando ocorria qualquer alteração na altura de fluxo, voltava-se, então, a se fazer suas medições a cada 1min. Uma vez que a informação sobre a vazão de entrada deveria está o mais rápido possível disponível, tendo em vista que necessitava-se entrar com esse valor no modelo SIRTOM como um requerimento para a simulação da fase de avanço, a partir das curvas de vazão *versus* altura de fluxo dessas calhas, fornecidas por seus fabricantes, determinou-se as seguintes equações de calibração:

a) Para a calha Parshall modelo H26-1

$$Q_f = 0,0015027 \cdot hu^{1,5232292}, \quad R^2 = 0,9995; \quad (1)$$

b) Para a calha Parshall modelo H26-2

$$Q_f = 0,0019919 \cdot hu^{1,5984655}, \quad R^2 = 0,9998 \quad (2)$$

c) Para a calha WSC modelo FEX 1-34

$$Q_f = 0,0000292 \cdot hu^{2,399808}, \quad R^2 = 0,9976 \quad (3)$$

Onde: Q_f é a vazão, em l/s; e h_u é a altura de fluxo à montante, em mm. Utilizando-se, no computador, estas equações, tornou a determinação da vazão tanto mais rápida como mais precisa.



FIGURA 3. Ilustração da determinação da vazão, através da calha WSC modelo FEX 1-34

Para medir o tempo de avanço da água, foram colocadas dez estacas ao longo de cada sulco escolhido, distanciadas a cada 7,3 m, cronometrando-se o tempo de avanço acumulado em cada estação.

A velocidade de infiltração básica, f_0 foi determinada quando a vazão de saída, no final do sulco, atingiu um valor constante. A f_0 foi igual à diferença entre a vazão aplicada no início do sulco e a que sai no seu final, dividida pelo comprimento do sulco, conforme Bernardo (1995). Este parâmetro foi obtido em cada sulco de irrigação selecionado na mesma bateria e ao longo da estação de cultivo.

Para a obtenção da seção transversal de fluxo nos sulcos, foram realizadas medições de seus perfis, em três estações equidistantes de 18,25m, utilizando-se um perfilômetro confeccionado pelo Departamento de Engenharia Agrícola da UFPB - Campus II (Figura 4). A tomada desses dados foi feita após a fase de recessão em cada evento de irrigação; no entanto, durante a fase de armazenamento quando o perfil superficial de fluxo tornou-se praticamente estável, foram colocadas pequenas estacas nessas estações demarcando a seção transversal de fluxo, a ser medida posteriormente.

A determinação, em tempo real, do tempo de aplicação d'água foi feita da seguinte forma: imediatamente ao término da fase de avanço, os coeficientes k e a da equação de infiltração d'água no solo de Kostiakov-Lewis, foram determinadas a partir dos dados das medições da fase de avanço utilizando-se o software SIRTOM, modelo matemático computacional desenvolvido por Azevedo (1992) e a f_0 utilizada, na obtenção do tempo de oportunidade de infiltração em cada sulco e evento de irrigação, foi de $0,000190\text{m}^3/\text{min}/\text{m}$ determinado por Santana (1996). De posse da equação de infiltração d'água, o tempo de oportunidade de infiltração (τ), para a lâmina d'água requerida pela cultura, foi determinado iterativamente, através de uma planilha de cálculo feita no Microsoft Excel 7.0. Como em

todas as avaliações, desejou-se estabelecer condições de irrigação adequada ao longo de toda a área, isto é, a lâmina d'água aplicada no final da área foi igual à requerida pela cultura, o tempo de aplicação d'água foi, então, dado pela soma do tempo de avanço no final da área com o tempo de oportunidade de infiltração requerido.



FIGURA 4. Ilustração da determinação da seção transversal de fluxo do sulco, através do perfilômetro

3.5. Parâmetros de Avaliação do Sistema de Irrigação

Tendo-se concluída as mensurações de campo, fez-se o prognóstico do desempenho do sistema de irrigação, em cada sulco escolhido e para cada evento de irrigação, utilizando o modelo SIRMOD, desenvolvido pela Utah State University, que calcula os

parâmetros de avaliação do desempenho do sistema de irrigação, conforme Walker & Skogerboe (1987). Como nas avaliações, o sistema de irrigação foi operado de forma a se estabelecer a condição de irrigação adequada (lâmina d'água aplicada no final da área igual à requerida pela cultura), isto é, sem nenhum déficit ao longo de toda área, a uniformidade de distribuição d'água e a eficiência de armazenamento já foram, dessa maneira, otimizadas (100%), ficando a avaliação de desempenho do sistema apenas em função da eficiência de aplicação, e das taxas de percolação e de escoamento superficial, que foram determinadas pelas seguintes equações:

a) Eficiência de aplicação, E_a (%)

$$E_a = \frac{(Z_{req} \times L)}{[(Q_{m\acute{a}x} \times T_{av}) + (Q_{red} \times \tau)]} \times 100 \quad (4)$$

Onde: Z_{req} é a lâmina d'água requerida, em m^3/m ; L é o comprimento do sulco, em m ; $Q_{m\acute{a}x}$ é a vazão de entrada inicial, em m^3/min ; Q_{red} é a vazão de entrada reduzida, em m^3/min ; T_{av} é o tempo de avanço d'água, em min ; e τ é o tempo de oportunidade de infiltração, em min .

b) Taxa de escoamento superficial, TE (%)

$$TE = \frac{(Q_s \times \tau)}{[(Q_{m\acute{a}x} \times T_{av}) + (Q_{red} \times \tau)]} \times 100 \quad (5)$$

Onde: Q_s é a vazão de saída, em m^3/min .

c) Taxa de percolação, TP (%)

$$TP = 100 - (Ea + TE) \quad (6)$$

3.6. Programação da Irrigação

A Tabela 2 apresenta as informações necessárias à programação da irrigação. As lâminas d'água requeridas em cada evento de irrigação foram calculadas em função da variação na demanda evapotranspirativa da cultura (exceto no primeiro evento de irrigação que foi em função da capacidade máxima de armazenamento d'água no solo), ao longo da estação de cultivo, que depende das fases fenológicas da cultura, das perdas d'água diárias por evaporação e do turno de rega. A variação devido as fases fenológicas foi expressa mediante o coeficiente de cultivo (denominado de K_c). Como a cultura implantada em campo foi algodão de ciclo médio, conforme FAO, citada por Barreto et al. (1997), os valores desse coeficiente para as fases fenológicas de desenvolvimento I, II, III e IV foram 0,49, 0,82, 1,04 e 0,88, respectivamente; quanto à evapotranspiração de referência (E_{to}), utilizou-se o tanque classe A, tendo sido o valor do coeficiente do tanque, K_p , considerado neste trabalho, igual a 0,75, recomendado por Amorim Neto e Beltrão (1992), para regiões semi-áridas.

TABELA 2. Calendário das irrigações, turno de rega e lâmina requerida

Eventos de irrigação	Datas	Turno de rega (dias)	Lâmina requerida	
			(mm)	(m ³ /m)
01	06/08/97	-	62,50	0,10000
02	08/08/97	02	5,76	0,00922
03	13/08/97	05	14,22	0,02275
04	20/08/97	07	22,12	0,03539
05	27/08/97	07	23,48	0,03757
06	05/09/97	09	32,05	0,05127
07	12/09/97	07	36,90	0,05904
08	22/09/97	10	68,50	0,10960
09	01/10/97	09	69,60	0,11140
10	10/10/97	09	72,93	0,11660
11	21/10/97	11	74,41	0,11910
12	29/10/97	08	48,91	0,07830
Total			531,38	0,85024

3.7. Análise Estatística

Os dados obtidos experimentalmente foram analisados utilizando-se métodos de estatística descritiva, calculando-se a média aritmética, desvio padrão, valores mínimo e máximo, amplitude total, intervalo de 95% de confiança (desvio-padrão populacional desconhecido) e coeficiente de variação. Baseado nos limites de coeficiente de variação (CV) propostos por Warrick & Nielsen (1980) para a classificação de variáveis do solo, pode-se considerar a variação **baixa**, quando $CV < 12\%$, **média**, quando $12\% \leq CV \leq 60\%$, **alta**, quando $CV > 60\%$.

Realizou-se análise da distribuição de frequência dos dados, observando-se se eles seguiam a distribuição normal ou lognormal. Para isto utilizou-se o método de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de probabilidade, para avaliar a hipótese de normalidade dos dados, citado por (Costa Neto, 1997).

Para verificar a ocorrência de “outlier”, isto é, valores discrepantes nos parâmetros estudados, em algum evento e/ou sulco de irrigação, adotou-se o procedimento proposto por Hoaglin (1983), em que considera-se como sendo “outliers” os valores $> Q_s + 1,5A_i$ e os $< Q_i - 1,5A_i$, onde: Q_s é o quartil superior, Q_i é o quartil inferior e A_i é a amplitude interquartilica. Em seguida, através da análise descritiva, avaliou-se, novamente o comportamento dos dados sem os “outliers”, para quantificação do efeito destes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Variações na Vazão de Entrada Inicial e Reduzida

A ocorrência de variações espacial e temporal nas vazões de entrada inicial e reduzida num solo franco-arenoso é apresentada nas Tabelas 3 e 4. Verificou-se, através da análise da distribuição de freqüência dos dados, que tanto a vazão de entrada inicial quanto a vazão reduzida, ao longo do tempo e do espaço, apresentaram distribuição normal. Em relação ao coeficiente de variação (CV), observa-se que, ao longo da estação de cultivo, a variação espacial oscilou de 16,3 a 22,9% e 12,9 a 37,8% para as vazões de entrada inicial e reduzida, respectivamente. Enquanto que, ao longo da área irrigada, a variação temporal oscilou de 6,3 a 10,1% e 7,2 a 16,6% para as vazões de entrada inicial e reduzida, respectivamente. Com base nos limites de CV propostos por Warrick & Nielsen (1980), pode-se dizer que tanto a vazão de entrada inicial quanto a reduzida, ao longo do tempo, apresentaram variação espacial média ($12\% \leq CV \leq 60\%$). E ao longo da área, a variação temporal na vazão de entrada inicial foi baixa ($CV < 12\%$), enquanto que na vazão de entrada reduzida foi de baixa a média. Foram nos eventos de irrigação 10 e 12 que ocorreram maiores desuniformidades nas vazões de entrada inicial e reduzida, respectivamente. Isto pode ser confirmado, observando-se que são nestes eventos de irrigação que se têm as maiores proporções entre a amplitude total e a média aritmética,

TABELA 3. Variação espacial e temporal na vazão de entrada inicial, Q_{máx} (l/s), num solo franco-arenoso

EVENTOS DE IRRIGAÇÃO	SULCOS DE IRRIGAÇÃO						MÉDIA ESPACIAL	DESVIO PADRÃO	VALOR		AMP. ^a TOTAL	I. C. (95%) ^b		CV ^e (%)
	01	02	03	04	05	06			MÍN.	MÁX.		L. I. ^c	L. S. ^d	
01	1,08	0,77	1,12	0,87	1,25	1,18	1,05	0,19	0,77	1,25	0,48	0,85	1,24	17,8
02	1,01	0,87	1,17	0,87	1,39	1,35	1,11	0,23	0,87	1,39	0,52	0,87	1,35	20,7
03	0,95	0,91	0,87	0,94	1,25	1,43	1,06	0,23	0,87	1,43	0,56	0,82	1,30	21,5
04	0,87	0,97	1,19	0,97	1,51	1,32	1,14	0,25	0,87	1,51	0,64	0,88	1,40	21,6
05	1,11	0,77	1,19	0,97	1,35	1,39	1,13	0,23	0,77	1,39	0,62	0,88	1,38	20,8
06	0,84	0,93	1,17	0,87	1,39	1,25	1,08	0,23	0,84	1,39	0,55	0,84	1,31	21,1
07	0,95	1,06	1,26	1,04	1,25	1,47	1,17	0,19	0,95	1,47	0,52	0,97	1,37	16,3
08	1,05	1,01	1,31	1,07	1,63	1,43	1,25	0,25	1,01	1,63	0,62	0,99	1,51	19,9
09	1,01	0,95	1,15	0,94	1,43	1,28	1,13	0,20	0,94	1,43	0,49	0,92	1,33	17,6
10	0,92	0,91	1,19	0,97	1,55	1,35	1,15	0,26	0,91	1,55	0,64	0,87	1,42	22,9
11	0,95	0,87	1,19	1,10	1,28	1,43	1,14	0,21	0,87	1,43	0,56	0,92	1,36	18,3
12	0,89	0,93	1,26	0,87	1,18	1,35	1,08	0,21	0,87	1,35	0,48	0,86	1,30	19,3
MÉDIA TEMPORAL	0,97	0,91	1,17	0,96	1,37	1,35	1,12							
D. PADRÃO^f	0,08	0,09	0,11	0,08	0,14	0,09		0,21						
VALOR	MÍN.	0,84	0,77	0,87	0,87	1,18	1,18		0,77					
	MÁX.	1,11	1,06	1,31	1,10	1,63	1,47			1,63				
AMP. TOTAL	0,27	0,29	0,44	0,23	0,45	0,29					0,86			
I. C. (95%)	L. I.	0,92	0,86	1,10	0,91	1,28	1,30					1,07		
	L. S.	1,02	0,97	1,24	1,01	1,46	1,41						1,17	
CV (%)	8,7	9,4	9,3	8,4	10,1	6,3								18,9

^a Amplitude total, ^b Estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^c Limite inferior da estimativa do intervalo a 95% de confiança,

^d Limite superior da estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^e Coeficiente de variação, ^f Desvio padrão

A quantificação dos parâmetros estatísticos na diagonal, correspondem à variação da vazão de entrada inicial ao longo do tempo e do espaço

TABELA 4. Variação espacial e temporal na vazão de entrada reduzida, Qred (l/s), num solo franco-arenoso

EVENTOS DE IRRIGAÇÃO	SULCOS DE IRRIGAÇÃO						MÉDIA ESPACIAL	DESVIO PADRÃO	VALOR		AMP. ^a TOTAL	I. C. (95%) ^b		CV ^c (%)
	01	02	03	04	05	06			MÍN.	MÁX.		L. I. ^c	L. S. ^d	
01	0,61	0,46	0,62	0,51	0,65	0,61	0,58	0,07	0,46	0,65	0,19	0,50	0,65	12,9
02	0,48	0,45	0,67	0,51	0,70	0,73	0,59	0,12	0,45	0,73	0,28	0,46	0,72	20,9
03	0,54	0,45	0,50	0,48	0,52	0,73	0,54	0,10	0,45	0,73	0,28	0,43	0,64	18,6
04	0,46	0,69	0,67	0,51	0,78	0,76	0,65	0,13	0,46	0,78	0,32	0,51	0,78	20,4
05	0,50	0,43	0,67	0,59	0,76	0,89	0,64	0,17	0,43	0,89	0,46	0,46	0,82	26,5
06	0,46	0,45	0,53	0,51	0,65	0,84	0,57	0,15	0,45	0,84	0,39	0,42	0,73	26,0
07	0,37	0,53	0,56	0,56	0,70	0,78	0,58	0,14	0,37	0,78	0,41	0,43	0,73	24,5
08	0,50	0,50	0,65	0,56	0,78	0,86	0,64	0,15	0,50	0,86	0,36	0,48	0,80	23,5
09	0,44	0,51	0,65	0,48	0,78	1,05	0,65	0,23	0,44	1,05	0,61	0,41	0,90	35,6
10	0,42	0,48	0,60	0,51	0,84	1,01	0,64	0,23	0,42	1,01	0,59	0,40	0,89	36,1
11	0,48	0,46	0,67	0,53	0,73	0,98	0,64	0,20	0,46	0,98	0,52	0,43	0,85	30,8
12	0,46	0,43	0,65	0,46	0,70	1,05	0,63	0,24	0,43	1,05	0,62	0,38	0,87	37,8
MÉDIA TEMPORAL	0,48	0,49	0,62	0,52	0,72	0,86	0,61							
D. PADRÃO^f	0,06	0,07	0,06	0,04	0,08	0,14		0,16						
VALOR	MÍN.	0,37	0,43	0,50	0,46	0,52	0,61		0,37					
	MÁX.	0,61	0,69	0,67	0,59	0,84	1,05			1,05				
AMP. TOTAL	0,24	0,26	0,17	0,13	0,32	0,44					0,68			
I. C. (95%)	L. I.	0,44	0,44	0,58	0,49	0,66	0,77					0,57		
	L. S.	0,51	0,53	0,66	0,54	0,77	0,95						0,65	
CV (%)	12,6	14,6	9,6	7,2	11,7	16,6								26,1

^a Amplitude total, ^b Estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^c Limite inferior da estimativa do intervalo a 95% de confiança,

^d Limite superior da estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^e Coeficiente de variação, ^f Desvio padrão

A quantificação dos parâmetros estatísticos na diagonal, correspondem à variação da vazão de entrada reduzida ao longo do tempo e do espaço

bem como as maiores estimativas de intervalos em torno das médias das respectivas vazões para os 53 sulcos de irrigação da área experimental.

Com base nas vazões de entrada inicial e reduzida aplicadas ao longo da área irrigada, verificou-se que foram os sulcos de irrigação 05 e 06 que apresentaram maiores desuniformidades temporais nessas vazões, respectivamente. Pois foram estes sulcos que apresentaram maiores coeficientes de variação, apesar de que não foram neles que constatou-se as maiores proporções entre a amplitude total e a média aritmética, e sim nos sulcos 03 e 02, para as respectivas vazões de entrada inicial e reduzida. No entanto, verificou-se pelo procedimento proposto por Hoaglin (1983) a ocorrência de "outliers", isto é, valores discrepantes de vazões aplicadas nestes sulcos e que tiveram influências significativas tanto na amplitude total quanto no coeficiente de variação. Ao longo da estação de cultivo, as médias espaciais da vazão de entrada inicial e reduzida estiveram entre 1,05 a 1,25 l/s e 0,54 a 0,65 l/s, respectivamente. Atribui-se que as variações tanto espaciais como temporais, foram devidas às variações ocorridas nas lâminas de fluxo no canal e na posição da seção de saída dos sifões, bem como nas condições de fluxo dos sifões; pois alguns sifões operam sob condições de fluxo livre, enquanto outros em fluxo submerso. Provavelmente, estas variações temporais na vazão do canal parcelar se deve a uma demanda d'água diferenciada ao longo da estação de cultivo dos lotes do distrito, além de um controle de distribuição d'água inadequado no canal principal. Verificou-se, em alguns casos, um aumento na vazão de entrada tanto inicial como reduzida no sentido do fluxo d'água no canal ao longo da área irrigada; esse incremento na vazão deve-se, principalmente, ao fato de que a área irrigada, em estudo, encontra-se próxima da extremidade final do canal parcelar, tendo sido observada uma tendência de aumento na carga hidráulica no canal próximo a sua extremidade final.

Tendo-se, em cada evento de irrigação, utilizado dois sifões por sulco durante a fase de avanço e um sifão na fase de armazenamento, logo a taxa de redução de **fluxo** esperada deveria ter sido de 50%; no entanto, a média espacial na taxa de redução, ao longo do tempo, foi de 46%, com uma variação nos valores de 16,7% e 67,9%, respectivamente, no sentido transversal da área e ao longo da estação de cultivo. Acredita-se que, principalmente, as variações na carga hidráulica no canal tenham contribuído para essas variações na taxa de redução, mesmo porque em seções transversais de escoamento menores, a vazão do sifão torna-se bem mais sensível a variações na carga hidráulica.

As médias, as estimativas de intervalo a 95% de confiança e os coeficientes de variação das vazões de entrada inicial e reduzida obtidas, ao longo do tempo e do espaço, foram de 1,12 e 0,61 l/s, de 1,07 a 1,17 l/s e 0,57 a 0,65 l/s e de 18,9 e 26,1%, respectivamente.

4.2. Variações na Seção Transversal de Fluxo

As Tabelas 5, 6, 7 e 8 apresentam, respectivamente, as variações espacial e temporal na largura de topo, na largura a 50% da altura máxima, na largura da base e na altura máxima da seção transversal média dos sulcos de irrigação, num solo franco-arenoso. Os valores das referidas dimensões, específicos a cada sulco estudado, num determinado evento de irrigação representam médias de três medições feitas ao longo do sulco. Verificou-se através da análise da distribuição de frequência dos dados, que os parâmetros geométricos da seção transversal média dos sulcos de irrigação, apresentaram distribuição normal.

Observa-se que, tanto ao longo do tempo quanto no sentido transversal da

TABELA 5. Variação espacial e temporal da largura de topo, LT (m), da seção transversal de fluxo média dos sulcos de irrigação num solo franco-arenoso

EVENTOS DE IRRIGAÇÃO	SULCOS DE IRRIGAÇÃO						MÉDIA ESPACIAL	DESVIO PADRÃO	VALOR		AMP. ^a TOTAL	I. C. (95%) ^b		CV ^e (%)
	01	02	03	04	05	06			MÍN.	MÁX.		L. I. ^c	L. S. ^d	
01	0,330	0,315	0,302	0,281	0,276	0,280	0,297	0,022	0,276	0,330	0,054	0,274	0,320	7,4
02	0,385	0,359	0,379	0,333	0,286	0,318	0,343	0,038	0,286	0,385	0,099	0,303	0,383	11,1
03	0,378	0,356	0,247	0,327	0,286	0,274	0,311	0,051	0,247	0,378	0,131	0,258	0,365	16,3
04	0,409	0,335	0,306	0,329	0,329	0,277	0,331	0,044	0,277	0,409	0,132	0,285	0,377	13,3
05	0,405	0,368	0,282	0,329	0,276	0,309	0,328	0,050	0,276	0,405	0,129	0,275	0,381	15,4
06	0,423	0,342	0,295	0,377	0,303	0,295	0,339	0,052	0,295	0,423	0,128	0,284	0,394	15,4
07	0,343	0,360	0,283	0,355	0,282	0,313	0,323	0,035	0,282	0,360	0,078	0,286	0,360	10,9
08	0,389	0,347	0,290	0,270	0,297	0,280	0,312	0,046	0,270	0,389	0,119	0,264	0,361	14,8
09	0,417	0,333	0,332	0,275	0,310	0,315	0,330	0,047	0,275	0,417	0,142	0,281	0,380	14,3
10	0,412	0,353	0,327	0,307	0,349	0,314	0,344	0,038	0,307	0,412	0,105	0,304	0,384	11,1
11	0,409	0,327	0,342	0,378	0,336	0,346	0,356	0,031	0,327	0,409	0,082	0,324	0,389	8,7
12	0,389	0,332	0,322	0,358	0,282	0,318	0,334	0,037	0,282	0,389	0,107	0,295	0,372	11,0
MÉDIA TEMPORAL	0,391	0,344	0,309	0,327	0,301	0,303	0,329							
D. PADRÃO^f	0,029	0,016	0,034	0,037	0,025	0,022		0,042						
VALOR	MÍN.	0,330	0,315	0,247	0,270	0,276	0,274		0,247					
	MÁX.	0,423	0,368	0,379	0,378	0,349	0,346			0,423				
AMP. TOTAL	0,093	0,053	0,132	0,108	0,073	0,072					0,176			
I. C. (95%)	L. I.	0,372	0,334	0,287	0,303	0,285	0,289					0,319		
	L. S.	0,409	0,354	0,331	0,350	0,317	0,317						0,339	
CV (%)	7,4	4,6	11,1	11,4	8,3	7,3								12,7

^a Amplitude total, ^b Estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^c Limite inferior da estimativa do intervalo a 95% de confiança,

^d Limite superior da estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^e Coeficiente de variação, ^f Desvio padrão

A quantificação dos parâmetros estatísticos na diagonal, correspondem à variação da largura de topo da seção transversal média ao longo do tempo e do espaço

TABELA 6. Variação espacial e temporal da largura a 50% da altura máxima, L50% (m), da seção transversal de fluxo média dos sulcos de irrigação num solo franco-arenoso

EVENTOS DE IRRIGAÇÃO	SULCOS DE IRRIGAÇÃO						MÉDIA ESPACIAL	DESVIO PADRÃO	VALOR		AMP. ^a TOTAL	I. C. (95%) ^b		CV ^e (%)
	01	02	03	04	05	06			MÍN.	MÁX.		L. I. ^c	L. S. ^d	
01	0,210	0,225	0,215	0,178	0,202	0,167	0,200	0,022	0,167	0,225	0,058	0,176	0,223	11,3
02	0,246	0,219	0,228	0,216	0,214	0,223	0,224	0,021	0,214	0,246	0,032	0,212	0,237	5,2
03	0,242	0,233	0,162	0,232	0,216	0,197	0,214	0,030	0,162	0,242	0,080	0,182	0,245	14,0
04	0,245	0,241	0,185	0,237	0,189	0,196	0,216	0,028	0,185	0,245	0,060	0,186	0,245	13,1
05	0,246	0,209	0,179	0,222	0,207	0,228	0,215	0,023	0,179	0,246	0,067	0,191	0,239	10,5
06	0,274	0,246	0,205	0,257	0,212	0,158	0,225	0,042	0,158	0,274	0,116	0,181	0,270	18,7
07	0,186	0,193	0,194	0,232	0,144	0,193	0,190	0,028	0,144	0,232	0,088	0,161	0,220	14,7
08	0,244	0,243	0,200	0,198	0,191	0,148	0,204	0,036	0,148	0,244	0,096	0,166	0,242	17,6
09	0,279	0,214	0,200	0,195	0,218	0,197	0,217	0,032	0,195	0,279	0,084	0,184	0,250	14,6
10	0,257	0,211	0,212	0,187	0,223	0,200	0,215	0,024	0,187	0,257	0,070	0,190	0,240	11,1
11	0,249	0,189	0,204	0,242	0,242	0,232	0,226	0,024	0,189	0,249	0,060	0,201	0,252	10,7
12	0,214	0,175	0,188	0,228	0,196	0,199	0,200	0,019	0,175	0,228	0,053	0,180	0,220	9,4
MÉDIA TEMPORAL	0,241	0,217	0,198	0,219	0,205	0,195	0,212							
D. PADRÃO^f	0,026	0,023	0,018	0,024	0,024	0,026		0,028						
VALOR	MÍN.	0,186	0,175	0,162	0,178	0,144	0,148		0,144					
	MÁX.	0,279	0,246	0,228	0,257	0,242	0,232			0,279				
AMP. TOTAL	0,093	0,071	0,066	0,079	0,098	0,084					0,135			
I. C. (95%)	L. I.	0,224	0,202	0,186	0,203	0,189	0,178					0,206		
	L. S.	0,258	0,231	0,209	0,234	0,220	0,212						0,219	
CV (%)	10,9	10,5	8,9	11,1	11,8	13,5								13,1

^a Amplitude total, ^b Estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^c Limite inferior da estimativa do intervalo a 95% de confiança,

^d Limite superior da estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^e Coeficiente de variação, ^f Desvio padrão

A quantificação dos parâmetros estatísticos na diagonal, correspondem à variação da largura a 50% da altura máxima da seção transversal média ao longo do tempo e do espaço

TABELA 7. Variação espacial e temporal da largura da base, LB (m), da seção transversal de fluxo média dos sulcos de irrigação num solo franco-arenoso

EVENTOS DE IRRIGAÇÃO	SULCOS DE IRRIGAÇÃO						MÉDIA ESPACIAL	DESVIO PADRÃO	VALOR		AMP. ^a TOTAL	I. C. (95%) ^b		CV ^c (%)
	01	02	03	04	05	06			MÍN.	MÁX.		L. I. ^c	L. S. ^d	
01	0,034	0,034	0,047	0,049	0,042	0,048	0,042	0,007	0,034	0,049	0,015	0,035	0,050	16,3
02	0,021	0,017	0,022	0,125	0,028	0,026	0,040	0,042	0,017	0,125	0,108	-0,004	0,084	105,2
03	0,053	0,020	0,053	0,070	0,031	0,044	0,045	0,018	0,020	0,070	0,050	0,027	0,064	39,3
04	0,030	0,026	0,041	0,079	0,030	0,042	0,041	0,020	0,026	0,079	0,053	0,021	0,062	47,3
05	0,072	0,035	0,049	0,052	0,065	0,042	0,053	0,014	0,035	0,072	0,037	0,038	0,067	26,5
06	0,043	0,037	0,031	0,034	0,047	0,030	0,037	0,007	0,030	0,047	0,017	0,030	0,044	18,3
07	0,022	0,021	0,041	0,060	0,057	0,053	0,042	0,017	0,021	0,060	0,039	0,024	0,061	41,1
08	0,036	0,023	0,059	0,049	0,074	0,065	0,051	0,019	0,023	0,074	0,051	0,031	0,071	37,2
09	0,052	0,048	0,064	0,049	0,061	0,044	0,053	0,008	0,044	0,064	0,020	0,045	0,061	14,8
10	0,032	0,021	0,079	0,060	0,037	0,036	0,044	0,021	0,021	0,079	0,058	0,022	0,067	48,2
11	0,031	0,046	0,041	0,045	0,037	0,062	0,044	0,011	0,031	0,062	0,031	0,033	0,055	24,1
12	0,040	0,020	0,029	0,072	0,039	0,039	0,040	0,018	0,020	0,072	0,052	0,021	0,058	44,2
MÉDIA TEMPORAL	0,039	0,029	0,046	0,062	0,046	0,044	0,044							
D. PADRÃO^f	0,014	0,011	0,016	0,024	0,015	0,012		0,018						
VALOR	MÍN.	0,021	0,017	0,022	0,034	0,028	0,026		0,017					
	MÁX.	0,072	0,048	0,079	0,125	0,074	0,065			0,125				
AMP. TOTAL	0,051	0,031	0,057	0,091	0,046	0,039					0,108			
I. C. (95%)	L. I.	0,030	0,022	0,036	0,047	0,036	0,037					0,040		
	L. S.	0,048	0,036	0,056	0,077	0,055	0,052						0,049	
CV (%)	37,3	36,8	34,5	38,0	33,2	26,2								41,0

^a Amplitude total, ^b Estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^c Limite inferior da estimativa do intervalo a 95% de confiança,

^d Limite superior da estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^e Coeficiente de variação, ^f Desvio padrão

A quantificação dos parâmetros estatísticos na diagonal, correspondem à variação da largura da base da seção transversal média ao longo do tempo e do espaço

TABELA 8. Variação espacial e temporal da altura máxima, AM (m), da seção transversal de fluxo média dos sulcos de irrigação num solo franco-arenoso

EVENTOS DE IRRIGAÇÃO	SULCOS DE IRRIGAÇÃO						MÉDIA ESPACIAL	DESVIO PADRÃO	VALOR		AMP. ¹ TOTAL	I. C. (95%) ^b		CV ^c (%)
	01	02	03	04	05	06			MÍN.	MÁX.		L. I. ^e	L. S. ^d	
01	0,083	0,088	0,076	0,054	0,072	0,054	0,071	0,014	0,054	0,088	0,034	0,056	0,086	20,2
02	0,099	0,089	0,072	0,043	0,059	0,065	0,071	0,020	0,043	0,099	0,056	0,050	0,093	28,6
03	0,094	0,087	0,041	0,063	0,066	0,058	0,068	0,019	0,041	0,094	0,053	0,048	0,089	28,6
04	0,105	0,089	0,057	0,067	0,080	0,058	0,076	0,019	0,057	0,105	0,048	0,056	0,096	24,9
05	0,082	0,079	0,052	0,068	0,057	0,061	0,067	0,012	0,052	0,082	0,030	0,054	0,079	18,2
06	0,086	0,088	0,054	0,080	0,072	0,056	0,073	0,015	0,054	0,088	0,034	0,057	0,088	20,3
07	0,063	0,079	0,048	0,074	0,122	0,058	0,074	0,026	0,048	0,122	0,074	0,047	0,101	35,1
08	0,084	0,091	0,048	0,057	0,061	0,046	0,065	0,019	0,046	0,091	0,045	0,045	0,084	29,1
09	0,089	0,086	0,055	0,057	0,071	0,057	0,069	0,015	0,055	0,089	0,034	0,053	0,085	22,2
10	0,081	0,106	0,061	0,058	0,083	0,059	0,075	0,019	0,058	0,106	0,048	0,055	0,095	25,4
11	0,081	0,051	0,076	0,089	0,075	0,071	0,074	0,013	0,051	0,089	0,038	0,060	0,087	17,3
12	0,077	0,077	0,061	0,077	0,062	0,070	0,071	0,008	0,061	0,077	0,016	0,063	0,079	10,8
MÉDIA TEMPORAL	0,085	0,084	0,058	0,066	0,073	0,059	0,071							
D. PADRÃO^f	0,011	0,013	0,011	0,013	0,017	0,007		0,016						
VALOR	MÍN.	0,063	0,051	0,041	0,043	0,057	0,046		0,041					
	MÁX.	0,105	0,106	0,076	0,089	0,122	0,071			0,122				
AMP. TOTAL	0,042	0,055	0,035	0,046	0,065	0,025					0,081			
I. C. (95%)	L. I.	0,078	0,076	0,051	0,057	0,062	0,055					0,067		
	L. S.	0,092	0,092	0,066	0,074	0,084	0,064					0,075		
CV (%)	12,7	15,3	19,4	19,6	23,7	11,5								22,8

^a Amplitude total, ^b Estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^c Limite inferior da estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^d Limite superior da estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^e Coeficiente de variação, ^f Desvio padrão
A quantificação dos parâmetros estatísticos na diagonal, correspondem à variação da altura máxima da seção transversal média ao longo do tempo e do espaço

área irrigada, a desuniformidade foi mais expressiva na largura da base. Pode-se verificar pelo coeficiente de variação (CV) dos parâmetros geométricos largura de topo, largura a 50% da altura máxima, largura da base e altura máxima da seção transversal dos sulcos que ao longo da estação de cultivo, as variações espaciais oscilaram de 7,4 a 16,3%, de 5,2 a 18,7%, de 14,8 a 105,2% e de 10,8 a 35,1%, ao passo que ao longo do sentido transversal da área irrigada, as variações temporais oscilaram de 4,6 a 11,4%, de 8,9 a 13,5%, de 26,2 a 38,0% e de 11,5 a 23,7%, respectivamente. Portanto, baseando-se nos limites de CV sugeridos por Warrick & Nielsen (1980), pode-se dizer que, ao longo do tempo, a largura de topo, a largura a 50% da altura máxima e a altura máxima apresentaram variações espaciais de baixa ($CV < 12\%$) a média ($12\% \leq CV \leq 60\%$), e que a largura da base apresentou variação espacial de média a alta ($CV > 60\%$). Enquanto que, ao longo do sentido transversal da área irrigada, a variação temporal apresentada pela largura de topo foi baixa, pela largura a 50% da altura máxima e a altura máxima foi de baixa a média, e pela largura da base foi média. Logo, foram nos eventos 03, 06, 02 e 07 e sulcos de irrigação 03, 06, 04 e 05 que ocorreram as maiores variações espaciais e temporais na largura de topo, na largura a 50% da altura máxima, na largura da base e na altura máxima, respectivamente. Pois foram estes eventos e sulcos de irrigação que apresentaram maiores coeficientes de variação, estimativas de intervalos a 95% de confiança e proporções entre a amplitude total e a média aritmética, com exceção ao parâmetro geométrico largura a 50% da altura máxima onde foi o sulco 05 que apresentou maior proporção entre a amplitude total e a média aritmética e não o sulco 06 como era esperado, devido apresentar maior coeficiente de variação. Através do procedimento proposto por Hoaglin (1983), verificou-se que isto deve-se à ocorrência de um valor discrepante (0,144m) da largura a 50% da altura máxima no sulco 05.

Esta acentuada desuniformidade, no parâmetro geométrico largura da base da seção transversal dos sulcos de irrigação, já era esperada devido a deposição da massa de solo originária do desmoronamento do talude do sulco durante as irrigações. Henrique et al. (1997d) e Santana et al. (1997d), em estudos similares no mesmo perímetro irrigado, em solos franco-arenoso e franco, respectivamente, identificaram variações tanto espaciais como temporais na seção transversal de fluxo dos sulcos, onde a base do sulco foi a dimensão que mostrou-se mais vulnerável a alterações ao longo da estação de cultivo, acompanhada da altura máxima de fluxo que foi o parâmetro geométrico que apresentou o segundo maior grau de variação, tanto ao longo do tempo quanto espacialmente; isto deve-se ao fato de que este parâmetro depende tanto das alterações na largura da seção como das grandezas da vazão e da infiltração d'água; do tempo de aplicação nem tanto, porque suas grandezas permitem geralmente que o solo atinja a capacidade de infiltração básica, além da vazão de entrada teoricamente se manter constante ao longo de sua aplicação. Estas variações ocorridas tanto ao longo do tempo quanto no sentido transversal da área irrigada, que resultaram numa geometria cada vez mais parabólica, deve-se ao desmoronamento do talude dos sulcos devido provavelmente ao movimento da água, às variações ocorridas na vazão de entrada e na capacidade de infiltração, e à presença de ervas daninhas dentro dos sulcos.

As médias e os coeficientes de variação apresentados, ao longo do tempo e do espaço, pelos parâmetros geométricos largura de topo, largura a 50% da altura máxima, largura da base e altura máxima da seção transversal média dos sulcos foram de 0,329, 0,212, 0,044 e 0,071m e de 12,7, 13,1, 41,0 e 22,8, respectivamente

4.3. Variações na Infiltração D'água do Solo

As Tabelas 9, 10 e 11 apresentam as variações espaciais e temporais nas características de infiltração d'água num solo franco-arenoso. Verificou-se através da análise da distribuição de frequência dos dados, que tanto a velocidade de infiltração básica, f_0 (Tabela 9) quanto o expoente a da equação de Kostiakov-Lewis (Tabela 11), ao longo do tempo e do espaço, apresentaram distribuição normal; enquanto que o coeficiente k (Tabela 10) não se ajustou a uma distribuição normal e nem lognormal, indicando que a média aritmética e a mediana por serem medidas de tendência central não representam bem a distribuição deste coeficiente, logo a moda por ser uma medida de posição que indica a região de maior concentração de frequências na distribuição, representa melhor.

Com relação ao coeficiente de variação (CV), observa-se nas Tabela 9, 10 e 11 que a variação espacial na velocidade de infiltração básica e nos parâmetros k e a da equação de Kostiakov-Lewis, ao longo da estação de cultivo, oscilou de 12,1 a 94,7%, de 23,9 a 44,3% e de 17,9 a 55,2%, respectivamente. Enquanto que ao longo do sentido transversal da área irrigada, a variação temporal oscilou de 27,6 a 80,0%, de 19,9 a 42,5% e de 8,2 a 43,8%, respectivamente. De acordo com os limites de CV propostos por Warrick & Nielsen (1980), pode-se asseverar que, ao longo do tempo, a variação espacial apresentada pela velocidade de infiltração básica foi de média ($12\% \leq CV \leq 60\%$) a alta ($CV > 60\%$) e pelos parâmetros k e a foi média. Ao passo que, no sentido transversal da área irrigada, a variação temporal apresentada pela velocidade de infiltração básica foi, também, de média a alta, pelo coeficiente k foi média e pelo expoente a foi de baixa ($CV < 12\%$) a média. Tendo portanto, ao longo da estação de cultivo, a maior desuniformidade na velocidade de infiltração básica, no coeficiente k e no expoente a ocorrido no décimo, no primeiro e no nono evento de irrigação, respectivamente. Enquanto que ao longo do senti-

TABELA 9. Variação espacial e temporal da velocidade de infiltração básica, fo (m³/min/m), num solo franco-arenoso

EVENTOS DE IRRIGAÇÃO	SULCOS DE IRRIGAÇÃO					MÉDIA ESPACIAL	DESVIO PADRÃO	VALOR		AMP. ^a TOTAL	I. C. (95%) ^b		CV ^e (%)
	01	03	04	05	06			MÍN.	MÁX.		L. I. ^c	L. S. ^d	
01	0,000214	0,000345	0,000140	0,000247	0,000123	0,000214	0,000089	0,000123	0,000345	0,000222	0,000103	0,000325	41,8
02	0,000173	0,000140	*	0,000132	0,000156	0,000150	0,000018	0,000132	0,000173	0,000041	0,000121	0,000179	12,1
03	0,000132	0,000082	0,000057	0,000140	0,000173	0,000117	0,000047	0,000057	0,000173	0,000116	0,000059	0,000175	40,0
04	0,000156	0,000099	0,000041	0,000107	0,000197	0,000120	0,000059	0,000041	0,000197	0,000156	0,000046	0,000194	49,4
05	0,000099	0,000041	0,000107	0,000123	0,000197	0,000113	0,000056	0,000041	0,000197	0,000156	0,000044	0,000183	49,4
06	0,000156	*	0,000082	0,000156	0,000214	0,000152	0,000054	0,000082	0,000214	0,000132	0,000066	0,000238	35,6
07	0,000156	0,000066	0,000107	0,000132	0,000197	0,000132	0,000049	0,000066	0,000197	0,000131	0,000070	0,000193	37,6
08	0,000123	*	0,000082	0,000140	0,000189	0,000134	0,000044	0,000082	0,000189	0,000107	0,000063	0,000204	33,2
09	*	*	*	0,000140	0,000419	0,000280	0,000197	0,000140	0,000419	0,000279	-0,001493	0,002052	70,6
10	0,000057	*	0,000041	0,000173	0,000370	0,000160	0,000152	0,000041	0,000370	0,000329	-0,000081	0,000402	94,7
11	0,000033	*	0,000041	0,000205	0,000271	0,000138	0,000119	0,000033	0,000271	0,000238	-0,000052	0,000327	86,7
12	0,000090	0,000115	0,000099	0,000230	0,000403	0,000187	0,000133	0,000090	0,000403	0,000313	0,000022	0,000353	71,0
MÉDIA TEMPORAL	0,000126	0,000127	0,000080	0,000160	0,000242	0,000152							
D. PADRÃO^f	0,000053	0,000101	0,000034	0,000044	0,000100		0,000088						
VALOR	MÍN.	0,000033	0,000041	0,000041	0,000107	0,000123		0,000033					
	MÁX.	0,000214	0,000345	0,000140	0,000247	0,000419			0,000419				
AMP. TOTAL	0,000181	0,000304	0,000099	0,000140	0,000296					0,000386			
I. C. (95%)	L. I.	0,000091	0,000033	0,000055	0,000132	0,000179					0,000128		
	L. S.	0,000162	0,000221	0,000104	0,000189	0,000306						0,000177	
CV (%)	42,0	80,0	42,9	27,6	41,3								57,9

^a Valor não obtido devido infiltrações laterais

^b Amplitude total, ^c Estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^d Limite inferior da estimativa do intervalo a 95% de confiança,

^e Limite superior da estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^f Coeficiente de variação, ^g Desvio padrão

A quantificação dos parâmetros estatísticos na diagonal, correspondem à variação da velocidade de infiltração básica ao longo do tempo e do espaço

TABELA 10. Variação espacial e temporal do coeficiente "k", (m³/min/m), da equação de Kostiakov-Lewis num solo franco-arenoso

EVENTOS DE IRRIGAÇÃO	SULCOS DE IRRIGAÇÃO						ESPACIAL		DESVIO	VALOR		AMP. ^a	I. C. (95%) ^b		CV ^e (%)
	01	02	03	04	05	06	MODA	MÉDIA	PADRÃO	MÍN.	MÁX.	TOTAL	L. I. ^c	L. S. ^d	
01	0,01754	0,01008	0,02497	0,00991	0,01044	0,01050	0,01278	0,01391	0,00616	0,00991	0,02497	0,01506	0,00744	0,02037	44,3
02	0,01017	0,01037	0,01820	0,00595	0,01024	0,00608	0,01142	0,01017	0,00445	0,00595	0,01820	0,01225	0,00550	0,01484	43,8
03	0,01037	0,00998	0,00903	0,00583	0,00558	0,00449	0,00949	0,00755	0,00254	0,00449	0,01037	0,00588	0,00488	0,01021	33,7
04	0,01022	0,00968	0,01686	0,00573	0,01101	0,00494	0,01027	0,00974	0,00428	0,00494	0,01686	0,01192	0,00525	0,01423	44,0
05	0,01042	0,00539	0,00700	0,00833	0,00561	0,00444	0,00594	0,00687	0,00221	0,00444	0,01042	0,00598	0,00454	0,00919	32,2
06	0,00977	0,00542	0,01061	0,00563	0,01040	0,01047	0,01042	0,00872	0,00249	0,00542	0,01061	0,00519	0,00610	0,01133	28,6
07	0,01009	0,00973	0,01099	0,00624	0,01030	0,00456	0,01006	0,00865	0,00261	0,00456	0,01099	0,00643	0,00592	0,01139	30,1
08	0,01027	0,01001	0,01875	0,01062	0,01024	0,00838	0,01013	0,01138	0,00370	0,00838	0,01875	0,01037	0,00750	0,01526	32,5
09	0,00993	0,00950	0,01122	0,00593	0,01064	0,01319	0,00998	0,01007	0,00240	0,00593	0,01319	0,00726	0,00755	0,01259	23,9
10	0,01014	0,01065	0,01844	0,01121	0,01542	0,01134	0,01174	0,01287	0,00332	0,01014	0,01844	0,00830	0,00939	0,01635	25,8
11	0,00997	0,00557	0,01819	0,01030	0,00987	0,01077	0,01188	0,01078	0,00409	0,00557	0,01819	0,01262	0,00648	0,01507	38,0
12	0,01026	0,00986	0,01872	0,01041	0,01012	0,00438	0,01158	0,01063	0,00459	0,00438	0,01872	0,01434	0,00580	0,01545	43,2
TEMP. ^f	MODA	0,01077	0,01001	0,01845	0,00639	0,00933	0,00558	0,01009							
	MÉDIA	0,01076	0,00885	0,01525	0,00801	0,00999	0,00780		0,01011						
	D. PADRÃO ^g	0,00214	0,00207	0,00532	0,00232	0,00253	0,00331		0,00397						
VALOR	MÍN.	0,00977	0,00539	0,00700	0,00563	0,00558	0,00438			0,00438					
	MÁX.	0,01754	0,01065	0,02497	0,01121	0,01542	0,01319				0,02497				
	AMP. TOTAL	0,00777	0,00526	0,01797	0,00558	0,00984	0,00881					0,02059			
I. C. (95%)	L. I.	0,00940	0,00754	0,01187	0,00653	0,00838	0,00569						0,00918		
	L. S.	0,01212	0,01017	0,01863	0,00948	0,01159	0,00990							0,01104	
	CV (%)	19,9	23,4	34,9	28,9	25,3	42,5								39,2

^a Amplitude total, ^b Estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^c Limite inferior da estimativa do intervalo a 95% de confiança,

^d Limite superior da estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^e Coeficiente de variação, ^f Temporal, ^g Desvio padrão

A quantificação dos parâmetros estatísticos na diagonal, correspondem à variação do coeficiente k da equação de Kostiakov-Lewis ao longo do tempo e do espaço

TABELA 11. Variação espacial e temporal do expoente “a” da equação de Kostiakov-Lewis num solo franco-arenoso

EVENTOS DE IRRIGAÇÃO	SULCOS DE IRRIGAÇÃO						MÉDIA ESPACIAL	DESVIO PADRÃO	VALOR		AMP. ^a TOTAL	I. C. (95%) ^b		CV ^e (%)
	01	02	03	04	05	06			MÍN.	MÁX.		L. I. ^c	L. S. ^d	
01	0,283	0,323	0,086	0,285	0,293	0,273	0,257	0,086	0,086	0,323	0,237	0,167	0,347	33,3
02	0,306	0,269	0,142	0,241	0,291	0,127	0,229	0,077	0,127	0,306	0,179	0,149	0,310	33,5
03	0,280	0,326	0,242	0,271	0,354	0,206	0,280	0,054	0,206	0,354	0,148	0,223	0,337	19,3
04	0,299	0,352	0,180	0,297	0,235	0,171	0,256	0,072	0,171	0,352	0,181	0,180	0,332	28,3
05	0,283	0,417	0,124	0,262	0,352	0,206	0,274	0,104	0,124	0,417	0,293	0,165	0,383	37,9
06	0,340	0,419	0,269	0,324	0,282	0,262	0,316	0,059	0,262	0,419	0,157	0,254	0,378	18,7
07	0,318	0,410	0,238	0,239	0,283	0,205	0,282	0,074	0,205	0,410	0,205	0,204	0,360	26,2
08	0,313	0,347	0,201	0,240	0,310	0,071	0,247	0,101	0,071	0,347	0,276	0,141	0,353	41,1
09	0,359	0,397	0,222	0,281	0,260	0,000	0,253	0,140	0,000	0,397	0,397	0,106	0,400	55,2
10	0,321	0,269	0,227	0,203	0,275	0,213	0,251	0,045	0,203	0,321	0,118	0,204	0,299	17,9
11	0,344	0,369	0,224	0,279	0,376	0,233	0,304	0,068	0,224	0,376	0,152	0,233	0,375	22,3
12	0,302	0,356	0,207	0,258	0,322	0,206	0,275	0,062	0,206	0,356	0,150	0,210	0,340	22,5
MÉDIA TEMPORAL	0,312	0,355	0,197	0,265	0,303	0,181	0,269							
D. PADRÃO ^f	0,025	0,052	0,054	0,032	0,042	0,079		0,079						
VALOR	MÍN.	0,280	0,269	0,086	0,203	0,235	0,000		0,000					
	MÁX.	0,359	0,419	0,269	0,324	0,376	0,273		0,419					
AMP. TOTAL	0,079	0,150	0,183	0,121	0,141	0,273					0,419			
I. C. (95%)	L. I.	0,296	0,322	0,162	0,245	0,276	0,131					0,250		
	L. S.	0,329	0,387	0,231	0,285	0,329	0,231						0,287	
CV (%)	8,2	14,6	27,5	12,0	13,8	43,8								29,5

^a Amplitude total, ^b Estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^c Limite inferior da estimativa do intervalo a 95% de confiança,

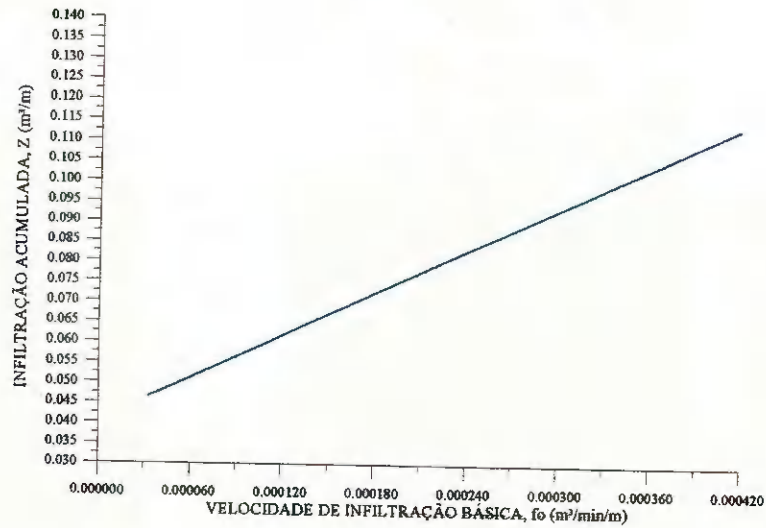
^d Limite superior da estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^e Coeficiente de variação, ^f Desvio padrão

A quantificação dos parâmetros estatísticos na diagonal, correspondem à variação do coeficiente a da equação de Kostiakov-Lewis ao longo do tempo e do espaço

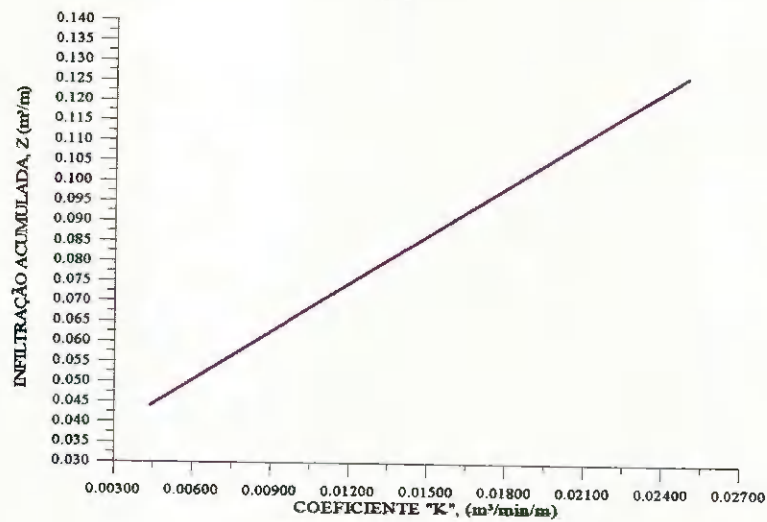
do transversal da área irrigada, a maior desuniformidade na velocidade de infiltração básica ocorreu no sulco de irrigação 03 e nos parâmetros k e a ocorreu no sulco de irrigação 06. Isto pode ser confirmado observando que, são nestes evento e sulco de irrigação que se têm os maiores coeficientes de variação e proporções entre a amplitude total e a média aritmética, com exceção ao coeficiente k onde foi o sulco 03 que apresentou a maior proporção entre a amplitude total e a média aritmética e não o sulco 06 que apresentou maior coeficiente de variação; isto é admissível devido ao fato da distribuição de frequência dos valores deste coeficiente não ter apresentado uma distribuição normal. Esta acentuada heterogeneidade na velocidade de infiltração básica e nos parâmetros k e a da equação de Kostiakov-Lewis verificada ao longo do sentido transversal da área irrigada, já era esperada porque a parcela agrícola está inserida num corpo aluvial, pois segundo Oliveira (1998) a heterogeneidade na textura destes solos é inerente a sua gênese, que é resultado de depósitos sucessivos de diferentes materiais, oriundos de diversos locais. Além, da distribuição e do acúmulo destes materiais na área, o que é função da topografia, do manejo físico, do processo de lixiviação que esta área é submetida ao longo do tempo, e de outros fatores. Também, devido ao fato deste solo ser de textura grossa, as dificuldades para o estabelecimento de uma estrutura bem definida e satisfatória às culturas, são bem maiores que em solos de textura fina. E ao longo do tempo a taxa de infiltração básica foi diminuindo até o quinto evento, devido, provavelmente, a um rearranjo estrutural das partículas do solo, como consequência do carreamento das partículas mais finas de um local para outro, preenchendo os espaços porosos e diminuindo a taxa de infiltração do solo, conforme definiu Castros e Souza (1998) e a uma maior umidade inicial (imediatamente anterior ao evento de irrigação) no perfil do solo. Nos últimos eventos de irrigação, ocorreu uma tendência de aumento na velocidade de infiltração básica devido a um baixo teor de umidade inicial ocasionado por aumento no

turno de rega. Não foi possível determinar a velocidade de infiltração básica em alguns eventos de irrigação (nos sulcos 01, 03 e 04) e no sulco de irrigação 02 não foi possível determinar ao longo de toda a estação de cultivo; devido a ocorrência de fluxos preferenciais laterais, ocasionado por transbordamento, fazendo com que a vazão de saída não se estabilizasse. Enquanto que, ao longo do tempo, supõe-se que as desuniformidades nos parâmetros k e a tenham ocorrido devido a alterações tanto na estrutura do solo como em seu conteúdo de umidade inicial, isto é, antes de cada evento de irrigação, conforme Santana (1996) e Santana et al. (1997c).

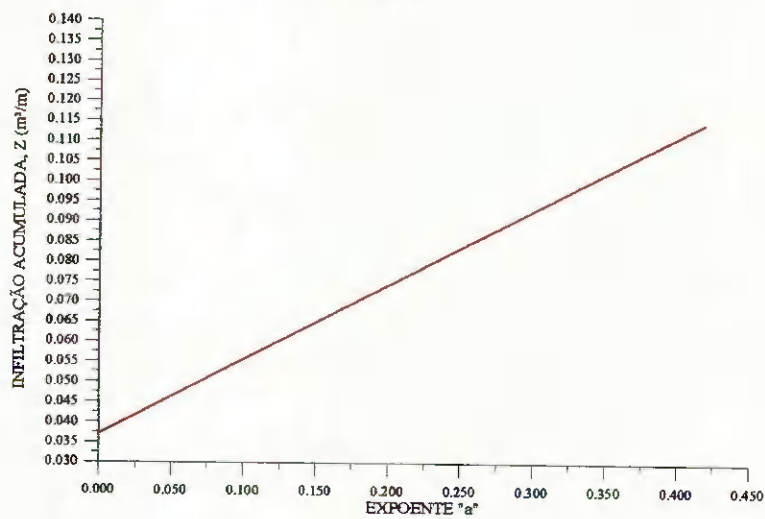
As Figuras 5a, 5b e 5c exibem, respectivamente, o efeito individual das variações dos parâmetros f_0 , k e a na estimativa da infiltração acumulada. Deve-se lembrar que os valores da infiltração acumulada foram calculados na Figura 5a para valores constantes de k , a e τ (tempo de oportunidade de infiltração), alterando-se, então, apenas os valores de f_0 dentro da faixa de variação encontrada em campo (0,000033 a 0,000419 $\text{m}^3/\text{min}/\text{m}$), na Figura 5b para valores constantes de f_0 , a e τ , alterando-se, então, apenas os valores do coeficiente k dentro da faixa de variação encontrada em campo (0,00438 a 0,02497 $\text{m}^3/\text{min}/\text{m}$), e na Figura 5c para valores constantes de f_0 , k e τ , alterando-se, então, apenas os valores do expoente a dentro da faixa de variação encontrada em campo (0,000 a 0,419). Os valores constantes, representam a média global, isto é, ao longo do tempo e do espaço, usados para os parâmetros f_0 (Tabela 9), k (Tabela 10), a (Tabela 11) e τ (Tabela 13) foram 0,000152 $\text{m}^3/\text{min}/\text{m}$, 0,01011 $\text{m}^3/\text{min}/\text{m}$, 0,269 e 177 min, respectivamente. Verifica-se que a equação de Kostiakov-Lewis torna a estimativa da infiltração acumulada diretamente proporcional à velocidade de infiltração básica, ao coeficiente k e ao expoente a . Constatou-se um efeito linear significativo entre a infiltração acumulada e os parâmetros, individualmente, f_0 , k e a . Quando a f_0 , o coeficiente k e o expoente a variou, respectivamente, de 0,000033 a 0,000419 $\text{m}^3/\text{min}/\text{m}$, de 0,00438 a 0,02497 $\text{m}^3/\text{min}/\text{m}$ e de



(a)



(b)



(c)

FIGURA 5. Efeito individual da variação dos parâmetros f_0 , k e a na estimativa da infiltração acumulada

0,000 a 0,419 os reflexos na infiltração acumulada foram de 0,047 a 0,115 m³/m, de 0,045 a 0,127 m³/m e de 0,037 a 0,115 m³/m, respectivamente. Apesar da interdependência entre esses parâmetros, verifica-se uma ligeira predominância do coeficiente k sobre o τ e o a na estimativa da infiltração acumulada. Mas, devido esses parâmetros não apresentarem a mesma magnitude de variação, torna-se difícil quantificar essa predominância.

A Figura 6 exibe o efeito conjugado das variações dos parâmetros k e a na estimativa da infiltração acumulada. Cada barra, nessa figura, representa uma equação de Kostiakov-Lewis distinta; no entanto, deve-se enfatizar que os valores de f_0 e τ (tempo de oportunidade de infiltração) foram mantidos constantes em todas as equações, tendo sido seus valores iguais a 0,000152m³/min/m (Tabela 9) e 177min (Tabela 13), média ao longo do tempo e do espaço, respectivamente. Observa-se uma variação da infiltração acumulada tanto no tempo quanto no espaço, ocasionada pela variação espacial e temporal nos parâmetros k e a . As variações na infiltração acumulada foram estudadas apenas sob o aspecto das variações nas características de infiltração d'água no solo, que se referem, assim descritas pela equação de Kostiakov-Lewis, apenas às taxas de infiltração nas unidades de área e tempo. Entretanto, sabe-se que a infiltração acumulada pode também variar em função de variações noutros parâmetros, como por exemplo o tempo de aplicação d'água pelo sistema de irrigação e a seção transversal de fluxo. Existe uma tendência muito forte da seção transversal de um sulco se alargar ao longo da estação de cultivo, favorecendo, assim, a um volume maior d'água armazenado no sulco que irá se infiltrar. Portanto, faz-se necessário pesquisas de campo que avaliem de forma mais completa as variações espacial e temporal nos parâmetros que afetam a infiltração acumulada.

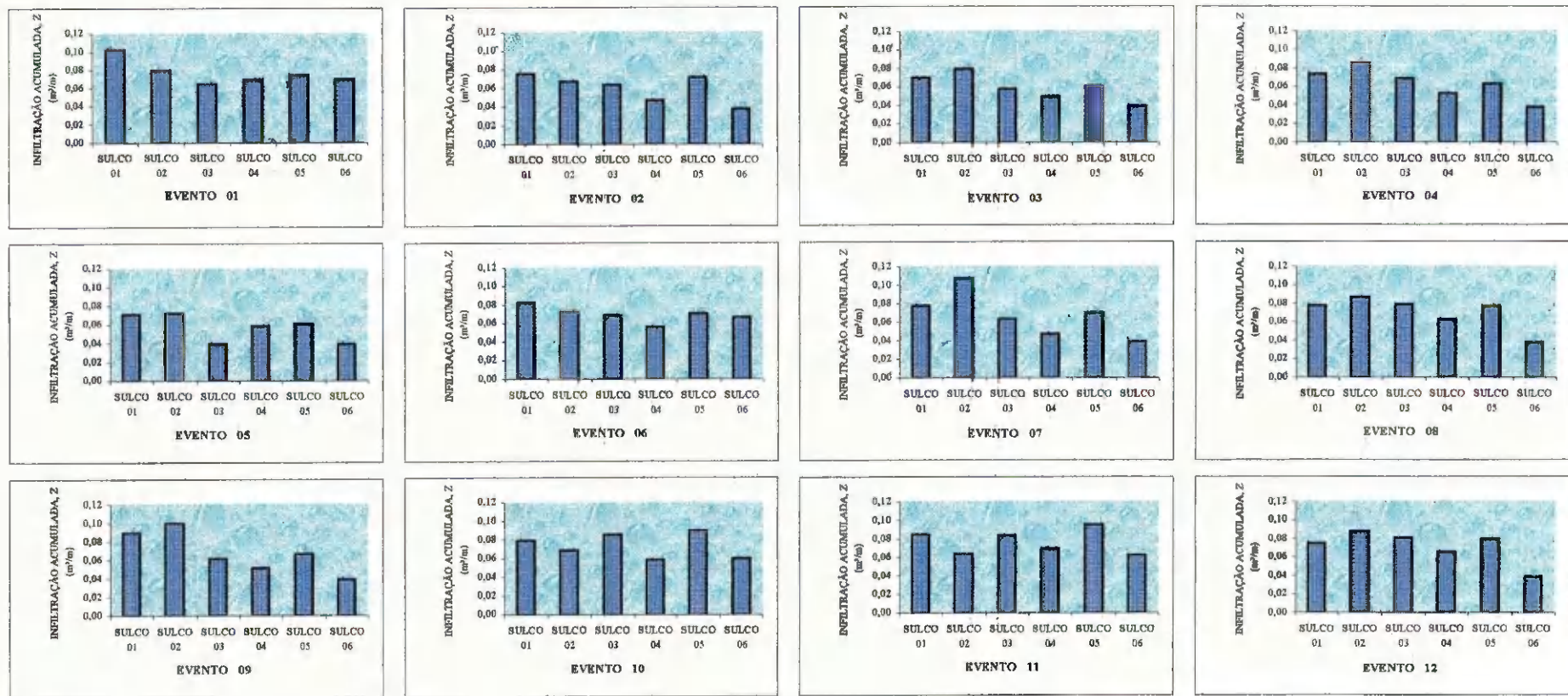


FIGURA 6. Efeito conjugado da variação espacial e temporal de k e a da equação de Kostiakov-Lewis na infiltração acumulada num solo franco-arenoso

Verifica-se que, ao longo da estação de cultivo, os parâmetros k e f_0 apresentaram valores médios mais elevados no primeiro evento de irrigação e em seguida tenderam a decrescer ao longo do tempo até o sétimo evento de irrigação, enquanto que o parâmetro a apresentou tendência crescente até o respectivo evento de irrigação; portanto, no primeiro evento de irrigação a capacidade de infiltração d'água do solo foi maior, o que deve-se a uma máxima porosidade total (ocasionada por um recente preparo de solo) e um baixo teor de umidade inicial no solo, enquanto que do segundo ao sétimo evento de irrigação o decréscimo da capacidade de infiltração deve-se, principalmente, a um rearranjo estrutural do solo, bem como a teores mais elevados de umidade existentes no solo, ocasionados por turnos de rega menores e aumentos, ao longo do tempo, da seção transversal dos sulcos de irrigação. A partir do oitavo evento de irrigação em diante a capacidade de infiltração d'água no solo tendeu a aumentar, devendo-se, principalmente, a baixos teores de umidade existentes no solo, ocasionados por turnos de rega maiores. Esse comportamento sazonal dos parâmetros de Kostiakov-Lewis está coerente, porque k e f_0 representam, respectivamente, as taxas de infiltração sob condições de insaturação e saturação, e a descreve como a infiltração acumulada varia com o tempo. Se essas taxas diminuíram ao longo do tempo, o parâmetro a teria realmente que crescer para refletir uma relação mais linear entre a infiltração acumulada e o tempo.

Ao longo do tempo, a média espacial da velocidade de infiltração básica (Tabela 9) e do expoente a (Tabela 11) oscilou, respectivamente, de 0,000113 a 0,000280 $m^3/min/m$ e de 0,229 a 0,316 e a moda espacial do coeficiente k (Tabela 10) oscilou de 0,00594 a 0,01278 $m^3/min/m$. Ao longo do sentido transversal da área irrigada, a média temporal da velocidade de infiltração básica e do expoente a oscilou, respectivamente, de 0,000080 a 0,000242 $m^3/min/m$ e de 0,181 a 0,355 e a moda temporal do coeficiente k oscilou de 0,00558 a 0,01845 $m^3/min/m$. Enquanto que a média e a moda, o coeficiente de

variação e a estimativa do intervalo a 95% de confiança (para os 53 sulcos de irrigação) da velocidade de infiltração básica, e dos parâmetros k e a , ao longo do tempo e do espaço, foram de $0,000152 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}$, $0,01009 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}$ (moda) e $0,269$, de $57,9\%$, $39,2\%$ e $29,5\%$ e de $0,000128$ a $0,000177 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}$, $0,00918$ a $0,01104 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}$ e $0,250$ a $0,287$, respectivamente. Estes valores mostram a importância de se fazer um monitoramento das características de infiltração d'água no solo, visando-se um melhor balanceamento das perdas d'água por percolação e escoamento superficial e conseqüentemente níveis satisfatórios de desempenho.

4.4. Variações no Tempo de Avanço D'água

A variação espacial e temporal do tempo de avanço d'água no final da área irrigada, num solo franco-arenoso, é exibida na Tabela 12. Demonstrou-se através da análise da distribuição de frequência dos dados, ao longo do tempo e do espaço, que o tempo de avanço apresentou distribuição normal. Observa-se, através do coeficiente de variação (CV), que ao longo da estação de cultivo, a variação espacial no tempo de avanço oscilou de $30,7$ a $49,8\%$. E que a variação temporal, ao longo do sentido transversal da área irrigada, no tempo de avanço oscilou de $13,6$ a $26,3\%$. Com base nos limites de CV propostos por Warrick & Nielsen (1980), pode-se dizer que o tempo de avanço, tanto ao longo do tempo quanto espacialmente, apresentou variação média ($12\% \leq CV \leq 60\%$). Foi no oitavo evento de irrigação e no sulco 05 que ocorreram maiores desuniformidades espacial ($CV = 49,8\%$) e temporal ($CV = 26,3\%$), porque é onde constata-se maiores valores tanto para o coeficiente de variação como para a proporção entre a amplitude total e a média aritmética. Observa-se que o primeiro evento de irrigação apresentou em média

TABELA 12. Variação espacial e temporal do tempo de avanço, Tav (min), no final da área irrigada num solo franco-arenoso

EVENTOS DE IRRIGAÇÃO	SULCOS DE IRRIGAÇÃO						MÉDIA ESPACIAL	DESVIO PADRÃO	VALOR		AMP. ^a TOTAL	I. C. (95%) ^b		CV ^e (%)
	01	02	03	04	05	06			MÍN.	MÁX.		L. I. ^c	L. S. ^d	
01	48	62	33	31	32	27	39	13	27	62	35	25	53	34,6
02	33	33	26	16	18	16	24	8	16	33	17	15	32	34,3
03	34	35	25	17	17	18	24	8	17	35	18	15	33	34,6
04	43	34	25	18	19	17	26	10	17	43	26	15	37	40,3
05	31	39	23	23	17	18	25	8	17	39	22	16	34	33,4
06	45	40	30	23	21	20	30	11	20	45	25	19	41	35,3
07	38	51	25	19	21	18	29	13	18	51	33	15	42	45,9
08	45	51	26	22	19	15	30	15	15	51	36	14	45	49,8
09	49	47	27	24	20	16	31	14	16	49	33	16	45	46,1
10	50	46	36	26	24	21	34	12	21	50	29	21	47	35,9
11	46	46	30	24	33	16	33	12	16	46	30	20	45	36,8
12	47	39	29	29	31	18	32	10	18	47	29	22	43	30,7
MÉDIA TEMPORAL	42	44	28	23	23	18	30							
D. PADRÃO ^f	7	9	4	5	6	3		11						
VALOR	MÍN.	31	33	23	16	17	15		15					
	MÁX.	50	62	36	31	33	27		62					
AMP. TOTAL	19	29	13	15	16	12					47			
I. C. (95%)	L. I.	38	38	26	20	19	16					27		
	L. S.	47	49	30	26	26	20						32	
CV (%)	15,7	19,6	13,6	20,5	26,3	17,6								38,5

^a Amplitude total, ^b Estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^c Limite inferior da estimativa do intervalo a 95% de confiança,

^d Limite superior da estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^e Coeficiente de variação, ^f Desvio padrão

A quantificação dos parâmetros estatísticos na diagonal, correspondem à variação do tempo de avanço no final da área irrigada ao longo do tempo e do espaço

tempo de avanço d'água nos sulcos de 39min, sendo maior que nos demais eventos; verificou-se do segundo ao quinto evento de irrigação uma redução nesse parâmetro, onde sua média espacial oscilou de 24 a 26min. No primeiro evento de irrigação o tempo de avanço foi maior devido o solo apresentar maior capacidade de infiltração d'água, possivelmente ocasionada por um recente preparo de solo e um baixo teor de umidade inicial no solo, enquanto que do segundo ao quinto evento de irrigação o tempo de avanço d'água no final da área foi menor, devido à redução na capacidade de infiltração d'água no solo, ocasionada por rearranjo estrutural do solo, além de que ele encontrava-se com teores de umidade inicial maiores devido a turnos de regas menores. Do sexto evento de irrigação em diante, o tempo de avanço d'água no final da área tendeu a aumentar; isto deve-se, provavelmente, ao aumento do turno de rega o que ocasiona uma redução no teor de umidade inicial no solo e ao aumento da rugosidade, com o surgimento de ervas daninhas e a própria cultura no interior dos sulcos de irrigação, bem como as modificações do perímetro molhado dos sulcos (Tabelas 5, 6, 7 e 8).

Verificou-se diferenças significativas (acima de 2 a 3 vezes) entre os valores mínimos e máximos apresentados pelos tempos de avanço no sentido transversal da área irrigada, ao longo da estação de cultivo; o que está de acordo com os resultados obtidos por Gordunova (1963), Le Din Thin-Davidov (1971), Varlev (1981) e Popova (1990) citados por Popova e Kuncheva (1996). Estas variações espaciais no tempo de avanço, provavelmente ocorreram devido às variações espaciais na vazão de entrada inicial e na capacidade de infiltração, esta ocorrida por supostas variações espaciais na estrutura do solo bem como em seu teor de umidade inicial. As variações temporais no tempo de avanço foram mais moderadas que no sentido transversal da área irrigada devendo-se, provavelmente, a menores variações na vazão de entrada inicial e na capacidade de infiltração do solo ao longo do tempo. Observa-se também, na Tabela 12, que ocorreu uma

tendência decrescente bastante acentuada no tempo de avanço no sentido do primeiro ao último sulco de irrigação, devido, principalmente, à ocorrência de variação crescente da vazão de entrada inicial do primeiro ao último sulco de irrigação.

As figuras de 7 a 18 e de 19 a 24, ilustram, respectivamente, a variação espacial, ao longo da estação de cultivo, e temporal, ao longo do sentido transversal da área irrigada, da fase de avanço num solo franco-arenoso. As variações no tempo de avanço d'água ao longo dos sulcos foram uma consequência, principalmente, da redução do fluxo superficial pela taxa de infiltração no sentido longitudinal dos sulcos. Essas variações apresentaram um comportamento diferenciado tanto ao longo do tempo como no sentido transversal da área, como um reflexo de diferentes vazões de entrada e de variações, tanto no sentido transversal como longitudinal da área, nos parâmetros de campo, principalmente infiltração d'água e seção transversal de fluxo; essa seção, com certeza, variou ao longo dos sulcos. Verifica-se que as variações no tempo de avanço ao longo dos sulcos foram diminuindo ao longo do tempo como efeito, principalmente, da redução da capacidade de infiltração d'água no solo, que foi certamente maior que o aumento na seção transversal de escoamento. Apesar de tratar-se de um solo franco-arenoso, observa-se que o tipo de variação no tempo de avanço ao longo dos sulcos foi praticamente linear, exceto nos sulcos 01 e 02 onde constata-se curvas de avanço com um certo grau de não linearidade, demonstrando, assim, que ocorreram ao longo desses sulcos variações nos parâmetros de campo maiores que nos demais. O avanço no sulco 02 no terceiro evento de irrigação, exibe um caso patente de variação espacial nos parâmetros de campo, porque no trecho de 35 a 42m a taxa de avanço diminuiu bruscamente, como consequência, provavelmente, de um alargamento na seção transversal de fluxo nesse trecho. Vencido esse obstáculo, a taxa

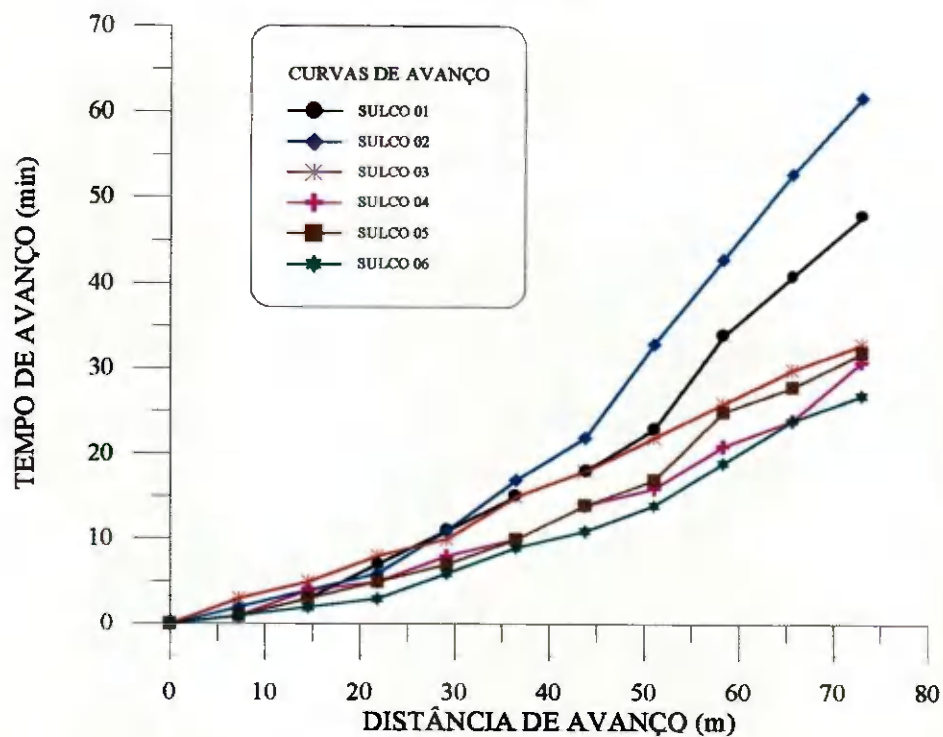


FIGURA 7. Variação espacial da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o primeiro evento de irrigação

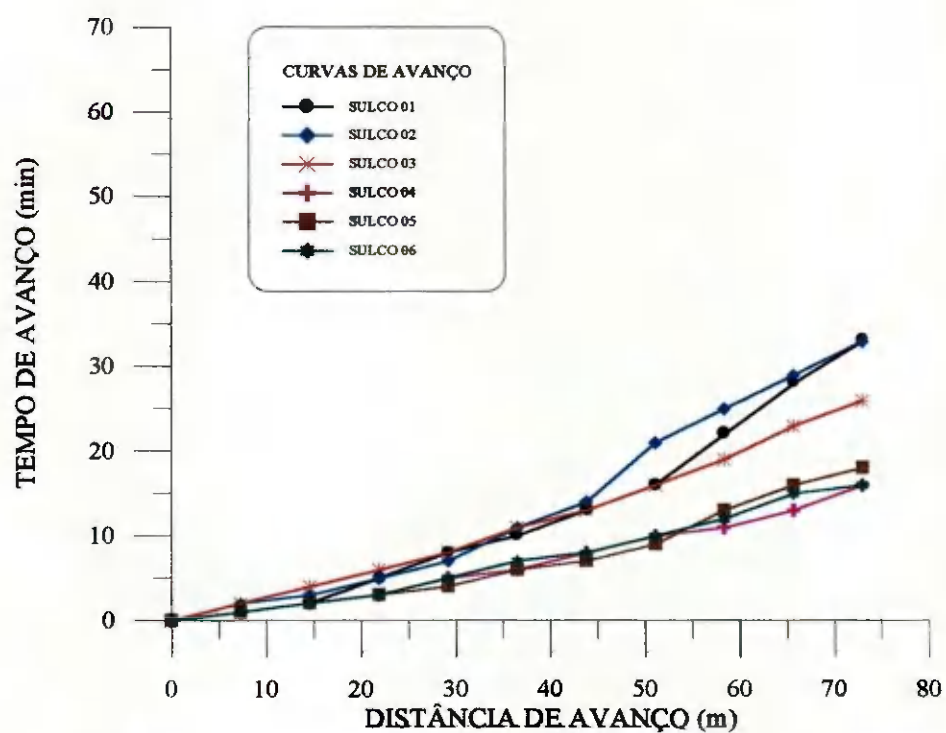


FIGURA 8. Variação espacial da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o segundo evento de irrigação

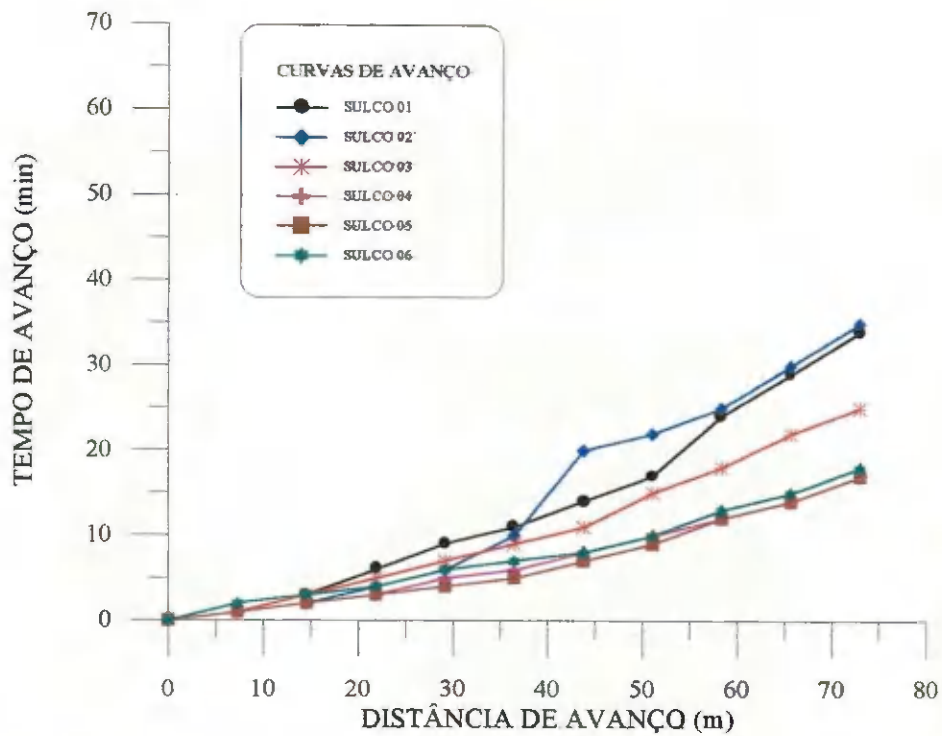


FIGURA 9. Variação espacial da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o terceiro evento de irrigação

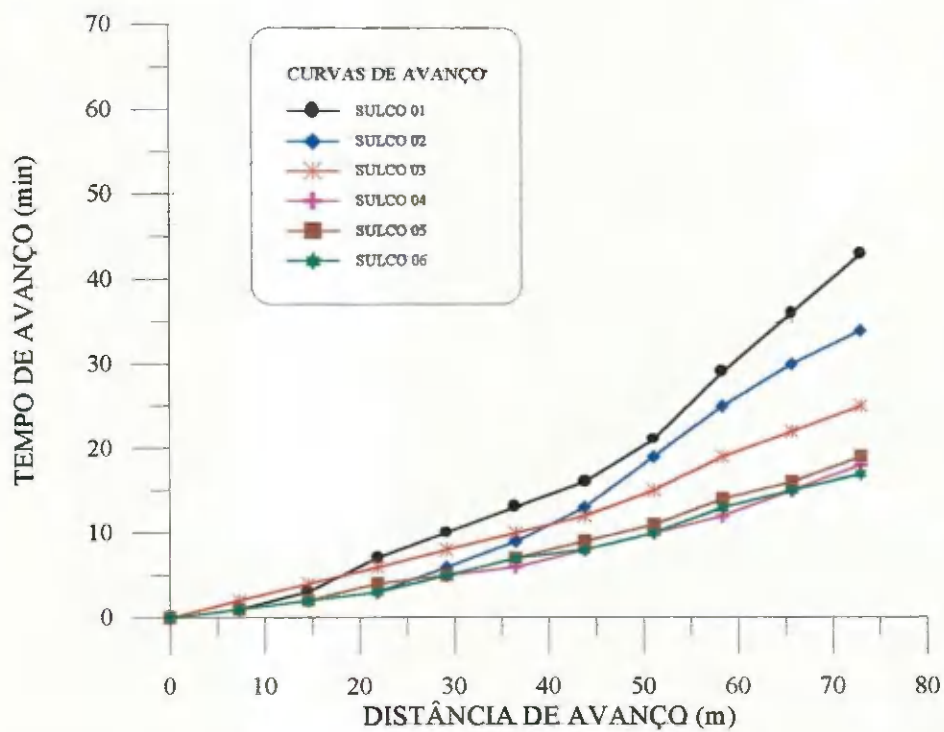


FIGURA 10. Variação espacial da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o quarto evento de irrigação

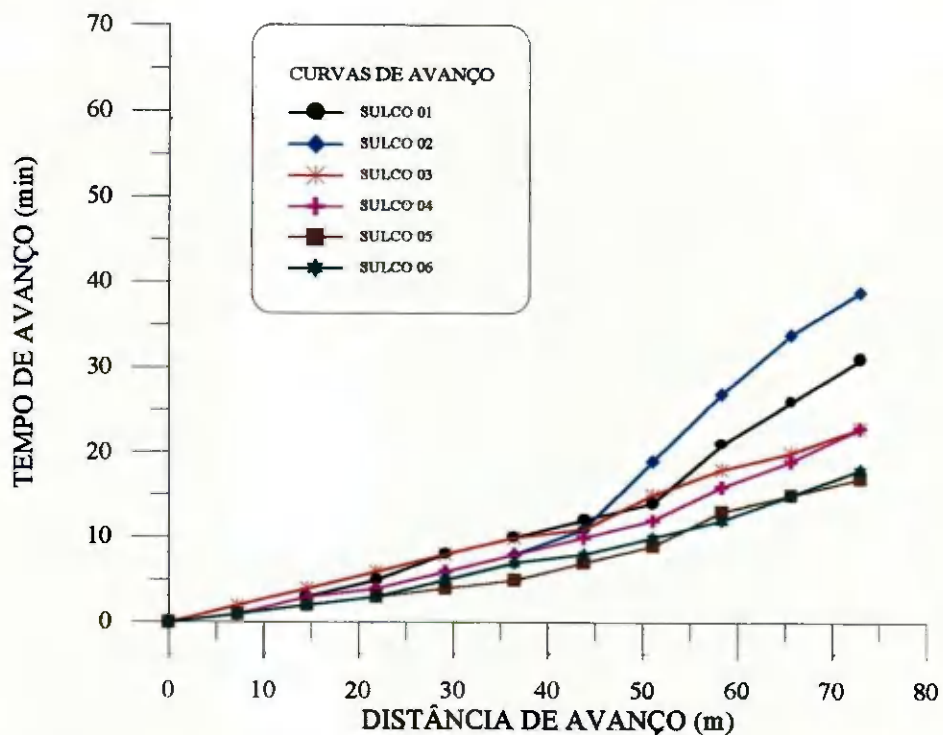


FIGURA 11. Variação espacial da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o quinto evento de irrigação

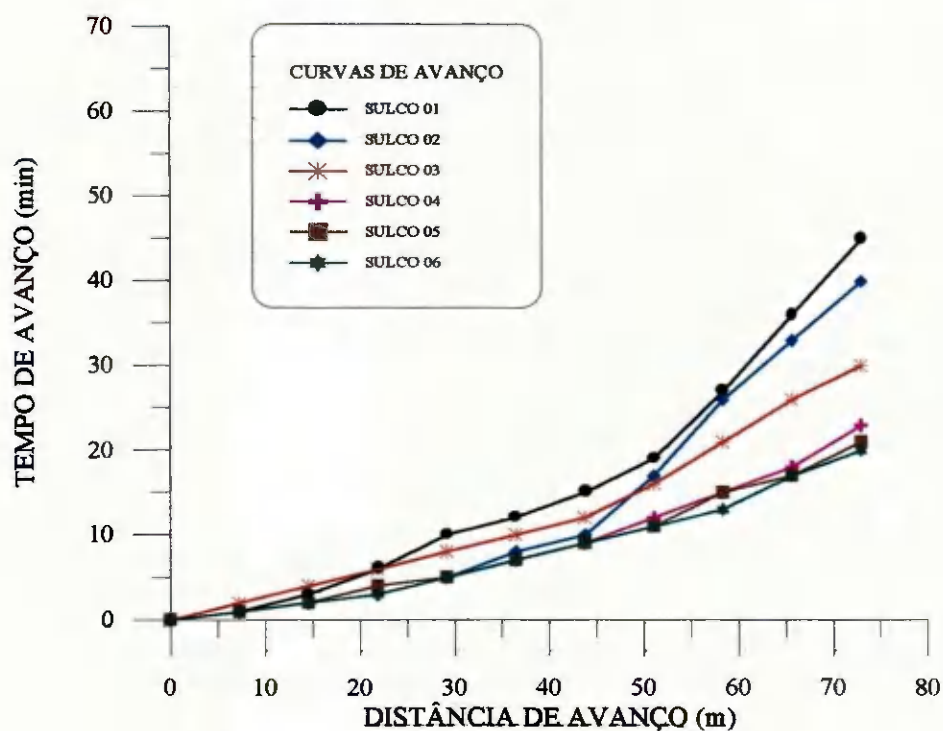


FIGURA 12. Variação espacial da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o sexto evento de irrigação

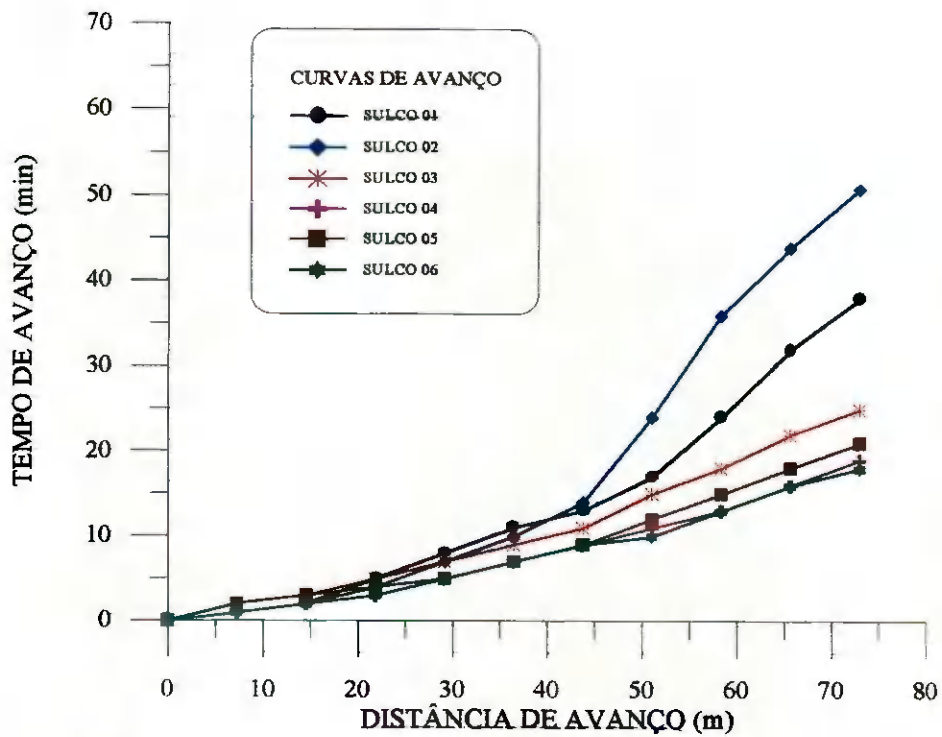


FIGURA 13. Variação espacial da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o sétimo evento de irrigação

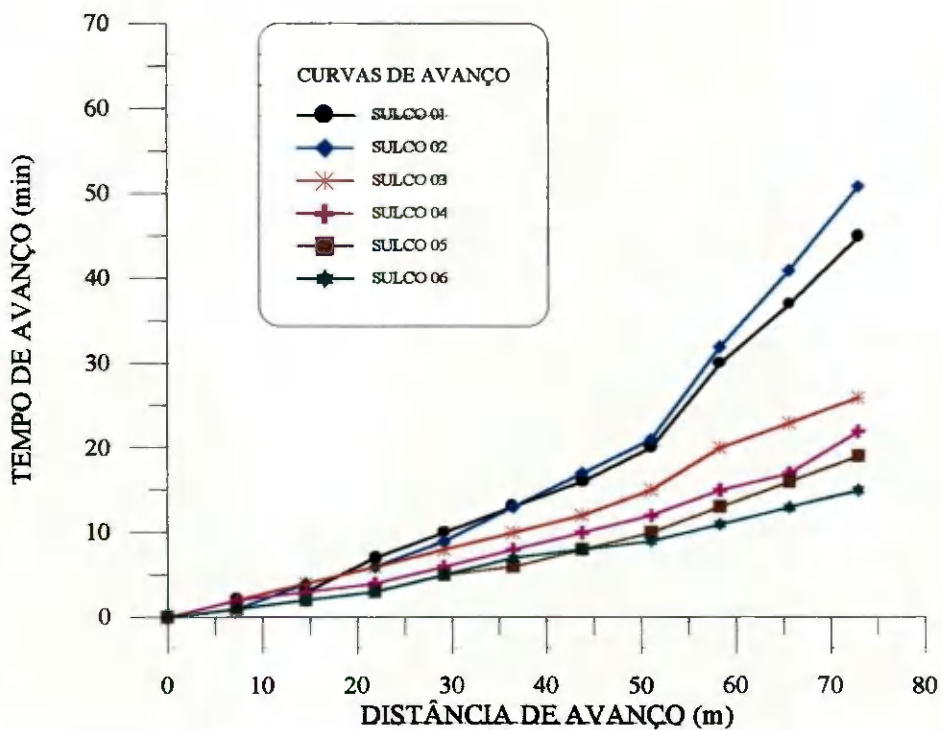


FIGURA 14. Variação espacial da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o oitavo evento de irrigação

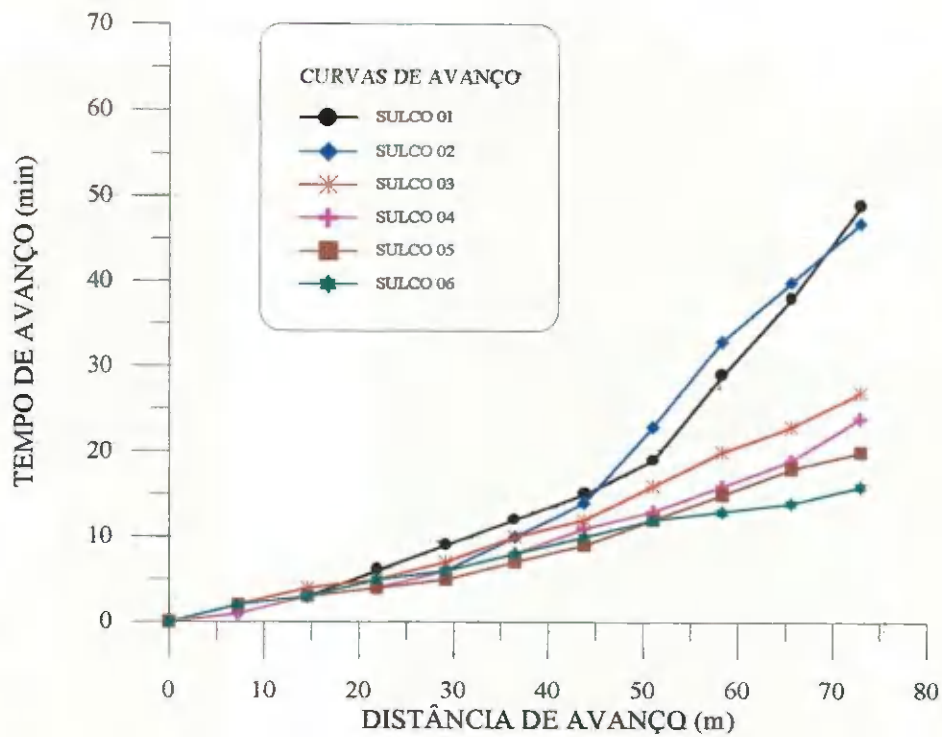


FIGURA 15. Variação espacial da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o nono evento de irrigação

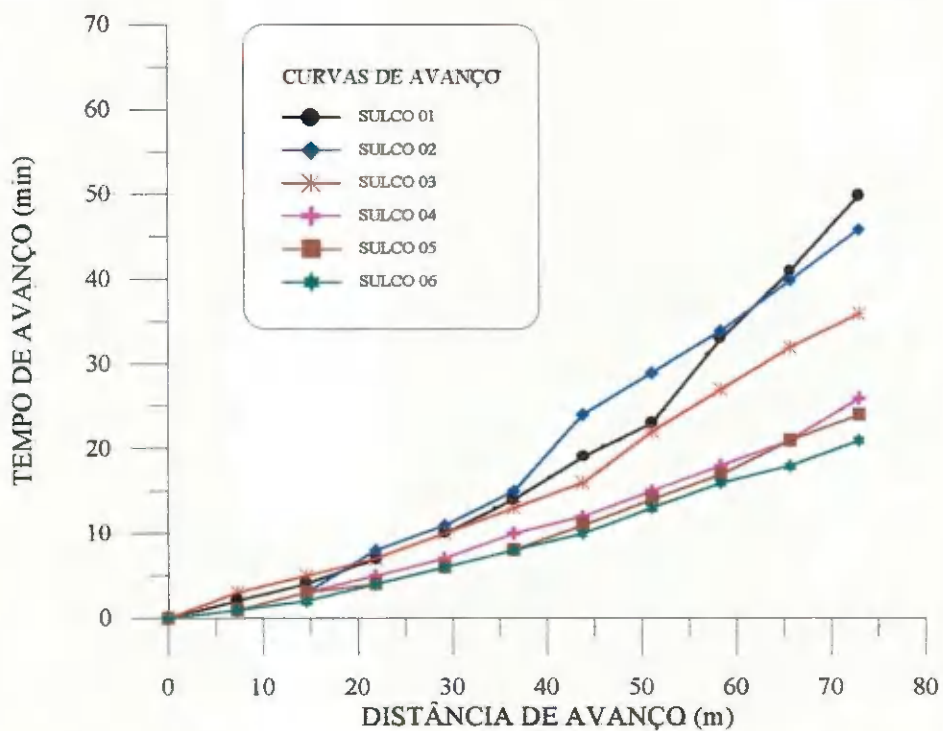


FIGURA 16. Variação espacial da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o décimo evento de irrigação

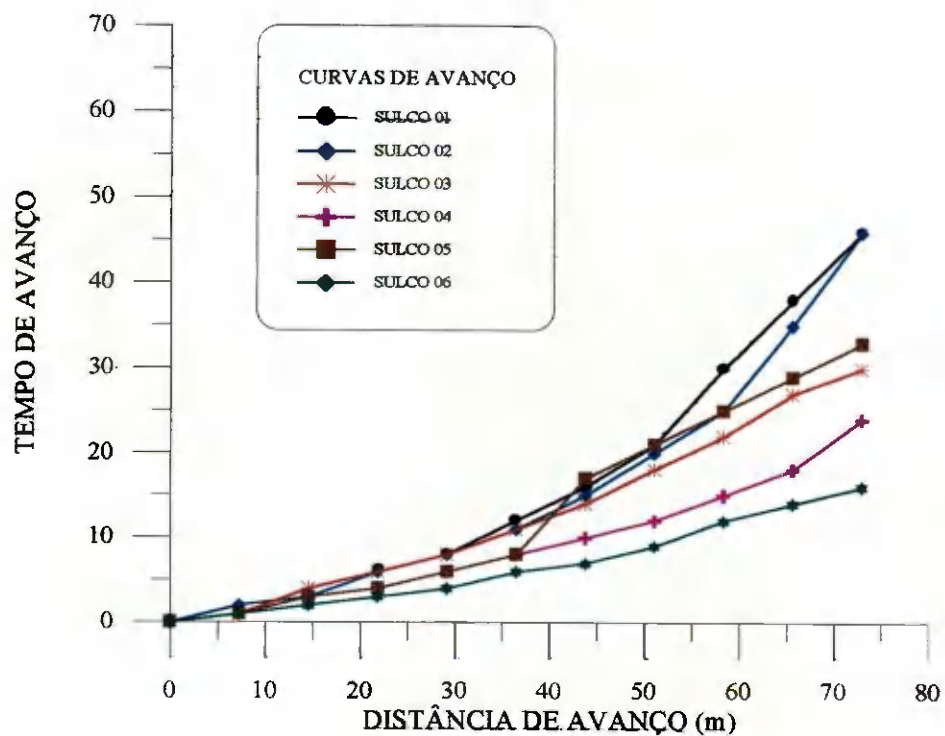


FIGURA 17. Variação espacial da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o décimo primeiro evento de irrigação

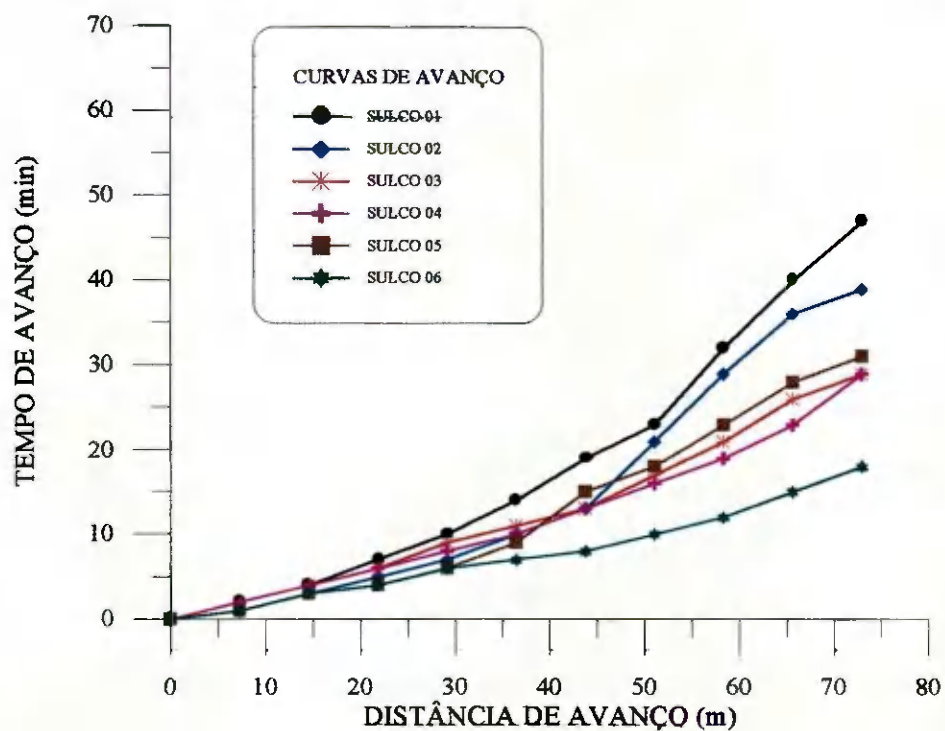


FIGURA 18. Variação espacial da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o décimo segundo evento de irrigação

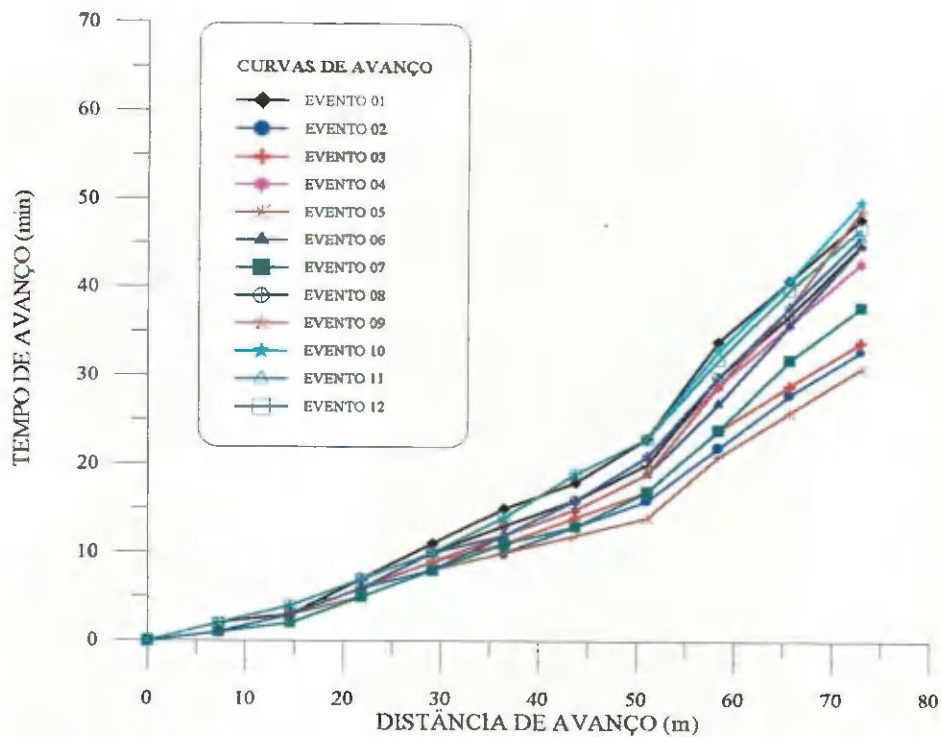


FIGURA 19. Variação temporal da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o sulco de irrigação 01

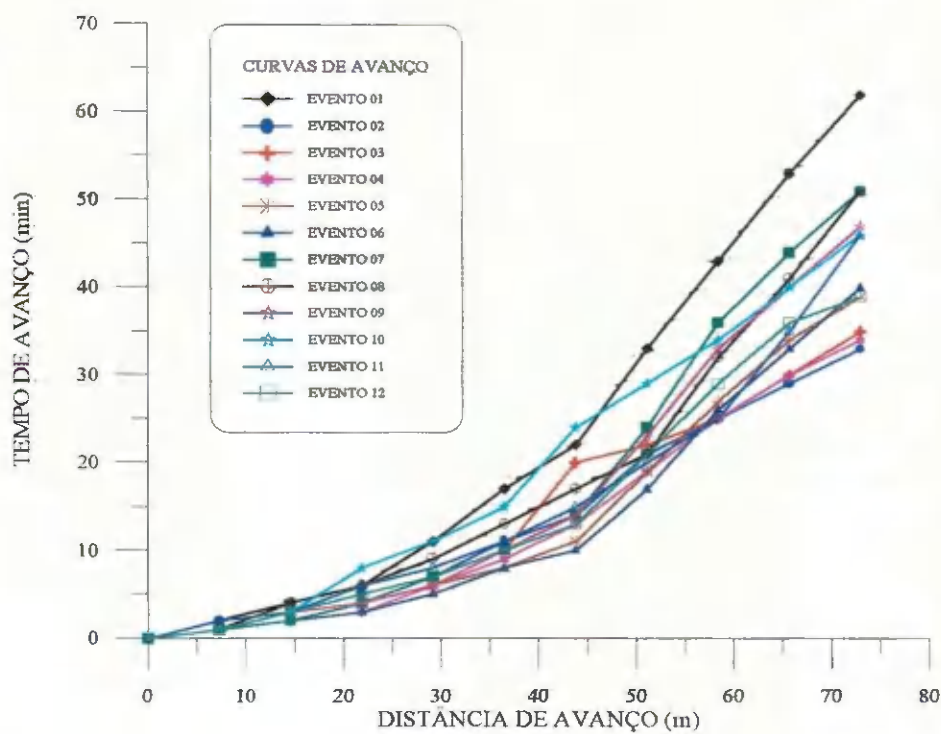


FIGURA 20. Variação temporal da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o sulco de irrigação 02

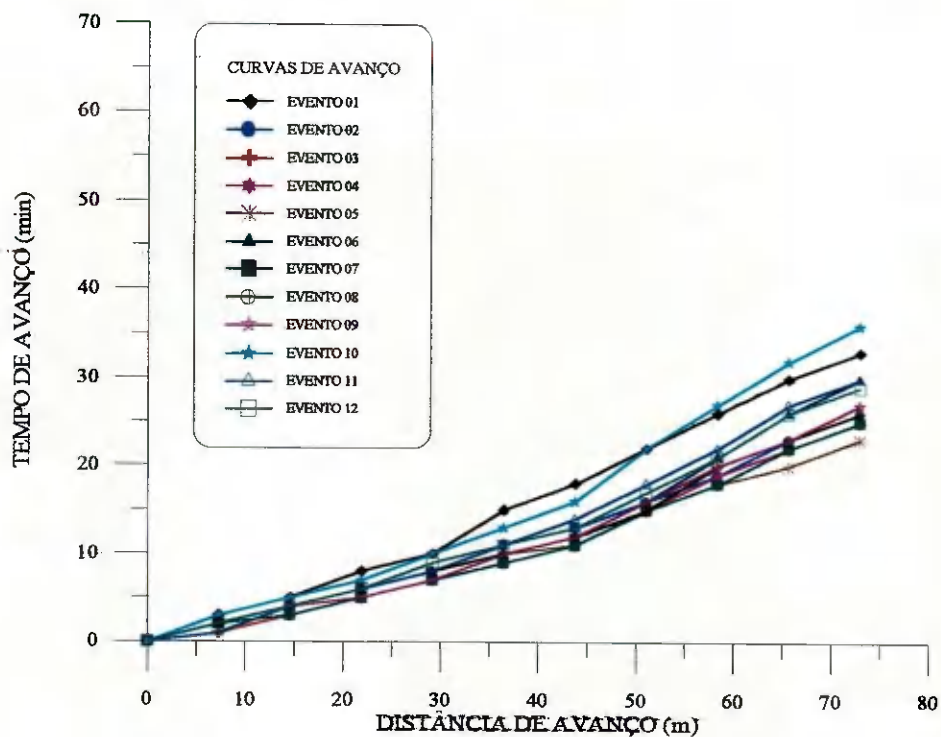


FIGURA 21. Variação temporal da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o sulco de irrigação 03

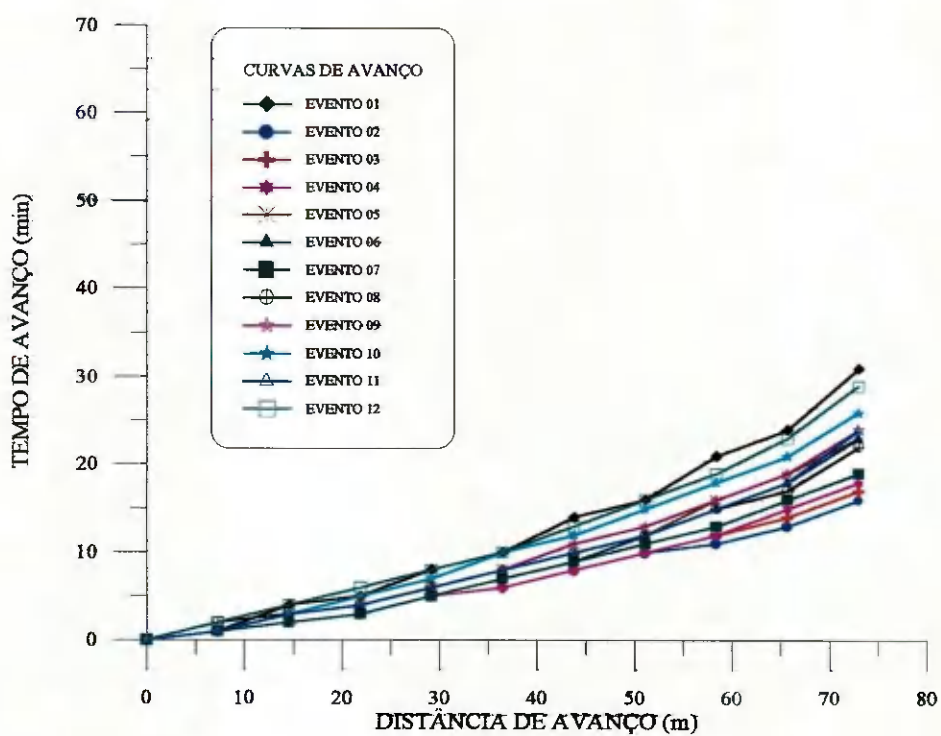


FIGURA 22. Variação temporal da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o sulco de irrigação 04

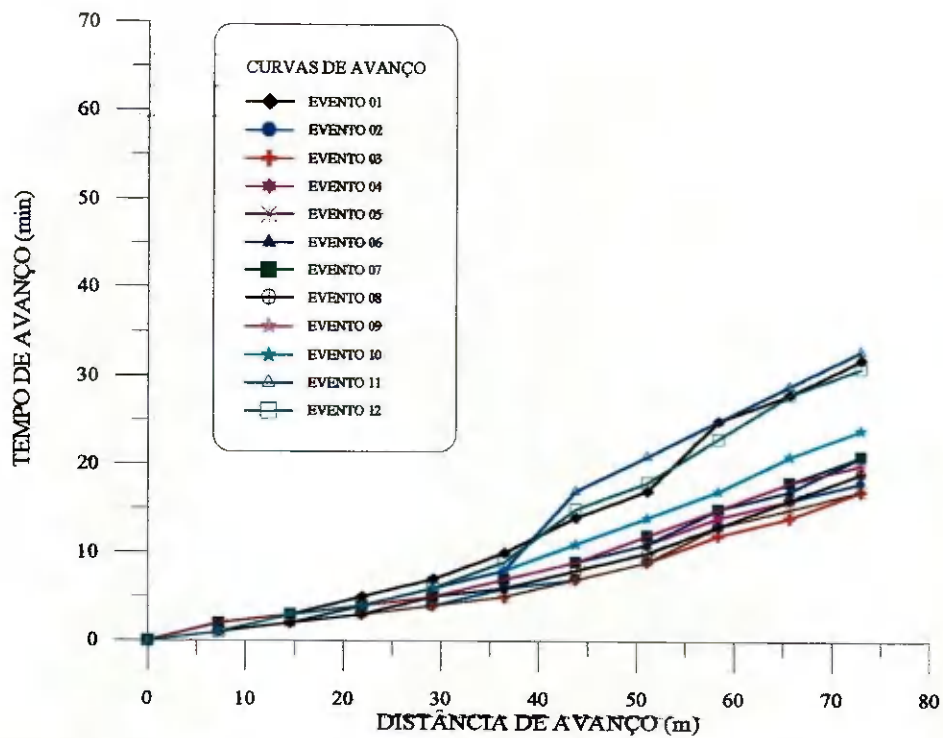


FIGURA 23. Variação temporal da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o sulco de irrigação 05

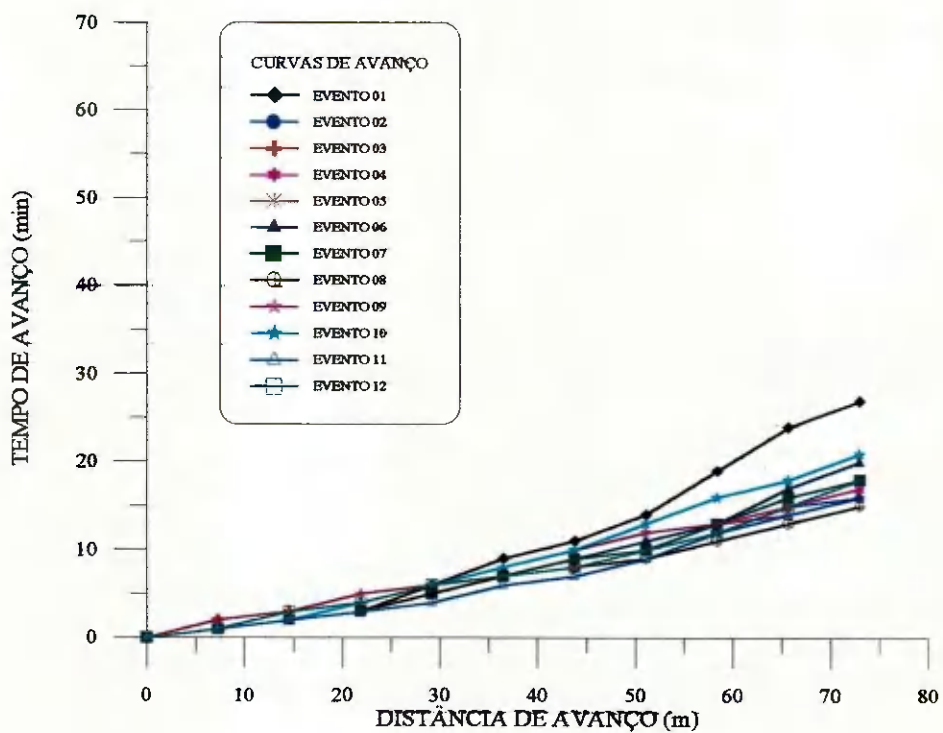


FIGURA 24. Variação temporal da fase de avanço, num solo franco-arenoso, para o sulco de irrigação 06

de avanço voltou ao normal. Isto mostra a importância da equação de infiltração d'água no solo obtida a partir do ajuste do avanço simulado ao medido, porque esse tipo de equação incorpora todas as variações em parâmetros de campo que contribuem para variações no tempo de avanço ao longo dos sulcos, que tem conseqüências nas estimativas do tempo de aplicação d'água, através do tempo de oportunidade de infiltração requerido no final da área, e da taxa de percolação, mediante um prognóstico do perfil de infiltração.

4.5. Variações no Tempo de Oportunidade de Infiltração

A Tabela 13, mostra as variações espacial e temporal no tempo de oportunidade de infiltração d'água no final da área irrigada, num solo franco-arenoso. Constatou-se através da análise da distribuição de frequência dos dados, que o tempo de oportunidade de infiltração, ao longo do tempo e do espaço, apresentou distribuição normal.

Em relação ao coeficiente de variação (CV), observa-se que, ao longo da estação de cultivo, a variação espacial oscilou de 20,8 a 94,2%, e ao longo do sentido transversal da área irrigada, a variação temporal oscilou de 68,1 a 89,9%, para o tempo de oportunidade de infiltração. Logo, baseado nos limites de CV sugeridos por Warrick & Nielsen (1980), pode-se afirmar que o tempo de oportunidade, ao longo do tempo, apresentou variação espacial de média ($12\% \leq CV \leq 60\%$) a alta ($CV > 60\%$), e ao longo do sentido transversal da área irrigada, apresentou variação temporal alta ($CV > 60\%$). Foram o evento 02 e o sulco de irrigação 02 que apresentaram as maiores desuniformidades no tempo de oportunidade de infiltração, ao longo do tempo e do espaço, respectivamente. Isto pode ser confirmado verificando, que são nestes evento e sulco de ir-

TABELA 13. Variação espacial e temporal do tempo de oportunidade de infiltração, τ (min), no final da área irrigada num solo franco-arenoso

EVENTOS DE IRRIGAÇÃO	SULCOS DE IRRIGAÇÃO						MÉDIA ESPACIAL	DESVIO PADRÃO	VALOR		AMP. ^a TOTAL	I. C. (95%) ^b		CV ^e (%)
	01	02	03	04	05	06			MÍN.	MÁX.		L. I. ^c	L. S. ^d	
01	147	221	311	269	249	271	245	56	147	311	164	186	304	23,0
02	1	1	1	3	1	6	2	2	1	6	5	0	4	94,2
03	12	10	21	38	26	64	29	20	10	64	54	7	50	70,7
04	33	26	26	77	45	127	56	40	26	127	101	14	97	71,5
05	41	51	130	66	68	134	82	40	41	134	93	39	124	49,3
06	61	86	85	127	81	90	88	22	61	127	66	66	111	24,4
07	89	52	127	195	107	237	135	69	52	237	185	62	207	51,4
08	266	229	272	349	271	508	316	102	229	508	279	209	423	32,3
09	222	187	367	416	333	517	340	123	187	517	330	212	469	36,0
10	286	344	268	413	245	400	326	71	245	413	168	252	400	21,6
11	268	368	287	349	227	398	316	66	227	398	171	247	385	20,8
12	161	124	139	198	147	336	184	79	124	336	212	102	267	42,6
MÉDIA TEMPORAL	132	142	170	208	150	257	177							
D. PADRÃO ^f	107	127	126	149	111	175		137						
VALOR	MÍN.	1	1	1	3	1	6		1					
	MÁX.	286	368	367	416	333	517		517					
AMP. TOTAL	285	367	366	413	332	511					516			
I. C. (95%)	L. I.	64	61	89	114	80	146					144		
	L. S.	200	222	250	303	220	369						209	
CV (%)	80,9	89,9	74,5	71,5	73,8	68,1								77,7

^a Amplitude total, ^b Estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^c Limite inferior da estimativa do intervalo a 95% de confiança,

^d Limite superior da estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^e Coeficiente de variação, ^f Desvio padrão

A quantificação dos parâmetros estatísticos na diagonal, correspondem à variação do tempo de oportunidade de infiltração no final da área irrigada ao longo do tempo e do espaço

rigação que se têm os maiores coeficientes de variação e proporções entre a amplitude total e a média aritmética.

Ao longo da estação de cultivo, observa-se que no primeiro evento de irrigação o tempo de oportunidade de infiltração médio foi de 245min, bem maior que as médias espaciais dos eventos de irrigação 2 a 6; isto ocorreu devido à necessidade de se aplicar a lâmina máxima armazenável para elevar o teor de umidade da camada de solo de 600mm à capacidade de campo. A capacidade de infiltração d'água do solo, que foi grande no primeiro evento de irrigação, contribuiu também para esse elevado tempo de oportunidade. Já no segundo evento de irrigação, o tempo de oportunidade de infiltração foi bem menor que nos demais eventos, apresentando média espacial de 2min; este fato deve-se a uma lâmina d'água requerida bastante reduzida (ocasionado por um turno de rega de apenas dois dias), por consequência da necessidade de se elevar o teor de umidade em toda a zona radicular à capacidade de campo, na sementeira. Enquanto que a lâmina d'água requerida nos demais eventos de irrigação foi apenas uma fração dessa lâmina máxima, que variou em função da demanda evapotranspirativa da cultura. Pode-se verificar, também, que a partir do sétimo evento de irrigação o tempo de oportunidade sofreu um aumento significativo, tendo como causas o aumento no intervalo de irrigações e a diminuição, ao longo do tempo, na capacidade de infiltração, ocasionada pelo desenvolvimento de capas impermeáveis na superfície conforme Enciso-Medina et al. (1998), necessitando-se de mais volumes de água a serem aplicados, para que pudesse ser mantida a mesma Eficiência de Armazenamento ($E_r = 100\%$) em todas as irrigações, o que está de acordo com Lima Filho e Souza (1998). As variações espaciais no tempo de oportunidade de infiltração d'água foram devido às variações ocorridas nas características de infiltração no sentido transversal da área, enquanto que as variações temporais foram

devidas tanto às variações nas lâminas de reposição quanto nas características de infiltração, ocorridas de um evento a outro (ver Tabelas 2, 9, 10 e 11).

A média, a estimativa de intervalo a 95% de confiança e o coeficiente de variação do tempo de oportunidade de infiltração obtidos, ao longo do tempo e do espaço, foram de 177min, de 144 a 209min e de 77,7%, respectivamente. Estes resultados mostram a suma importância de se corrigir o tempo de oportunidade de infiltração requerido no final da área tanto ao longo do tempo como do espaço.

4.6. Variações no Tempo de Aplicação D'água

A Tabela 14 mostra as variações espacial e temporal no tempo de aplicação d'água no final da área irrigada, num solo franco-arenoso. Demonstrou-se através da análise da distribuição de frequência dos dados, que o tempo de aplicação, ao longo do tempo e do espaço, apresentou distribuição normal. Com relação ao coeficiente de variação (CV), verifica-se que, ao longo da estação de cultivo, a variação espacial oscilou de 15,0 a 41,8%, e ao longo do sentido transversal da área irrigada, a variação temporal oscilou de 63,5 a 71,6%, para o tempo de aplicação. Baseando-se nos limites de CV propostos por Warrick & Nielsen (1980), pode-se assegurar que o tempo de aplicação, ao longo do tempo, apresentou variação espacial média ($12\% \leq CV \leq 60\%$), e ao longo do sentido transversal da área, apresentou variação temporal alta ($CV > 60\%$). A maior desuniformidade no tempo de aplicação ao longo do espaço ocorreu no quarto evento de irrigação, e ao longo do tempo ocorreu no sulco de irrigação 02, porque foram estes evento e sulco de irrigação que apresentaram os maiores coeficientes de variação e proporções entre a amplitude total e a média aritmética.

TABELA 14. Variação espacial e temporal do tempo de aplicação, Tap (min), no final da área irrigada num solo franco-arenoso

EVENTOS DE IRRIGAÇÃO	SULCOS DE IRRIGAÇÃO						MÉDIA ESPACIAL	DESVIO PADRÃO	VALOR		AMP. ^a TOTAL	I. C. (95%) ^b		CV ^c (%)
	01	02	03	04	05	06			MÍN.	MÁX.		L. I. ^c	L. S. ^d	
01	195	283	344	300	281	298	284	49	195	344	149	232	335	17,3
02	34	34	27	19	19	22	26	7	19	34	15	19	33	27,0
03	46	45	46	55	43	82	53	15	43	82	39	37	68	28,2
04	76	60	51	95	64	144	82	34	51	144	93	46	117	41,8
05	72	90	153	89	85	152	107	36	72	153	81	69	145	33,7
06	106	126	115	150	102	110	118	18	102	150	48	100	137	15,0
07	127	103	152	214	128	255	163	59	103	255	152	101	225	36,1
08	311	280	298	371	290	523	346	93	280	523	243	248	443	26,8
09	271	234	394	440	353	533	371	110	234	533	299	255	486	29,7
10	336	390	304	439	269	421	360	68	269	439	170	289	431	18,8
11	314	414	317	373	260	414	349	62	260	414	154	284	414	17,8
12	208	163	168	227	178	354	216	72	163	354	191	141	292	33,2
MÉDIA TEMPORAL	175	185	197	231	173	276	206							
D. PADRÃO^f	112	133	128	152	114	175		137						
VALOR	MÍN.	34	34	27	19	19	22		19					
	MÁX.	336	414	394	440	353	533			533				
AMP. TOTAL	302	380	367	421	334	511					514			
I. C. (95%)	L. I.	103	101	116	135	101	165					174		
	L. S.	246	269	279	327	245	387						238	
CV (%)	64,2	71,6	65,0	65,6	65,8	63,5								66,7

^a Amplitude total, ^b Estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^c Limite inferior da estimativa do intervalo a 95% de confiança,

^d Limite superior da estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^e Coeficiente de variação, ^f Desvio padrão

A quantificação dos parâmetros estatísticos na diagonal, correspondem à variação do tempo de aplicação no final da área irrigada ao longo do tempo e do espaço

Na irrigação por sulcos, as variações do tempo de aplicação d'água, são conseqüências de variações no tempo de avanço d'água no final da área (T_{av}) e no tempo de oportunidade de infiltração requerido (τ) para se estabelecer a condição de irrigação adequada, isto é, sem nenhum déficit de umidade ao longo de toda a área, mas sem perdas excessivas d'água. Nesta pesquisa, o sistema de irrigação foi manejado de forma a se ter essa condição de irrigação, não apenas por ser ela o ideal para a cultura, mas também por facilitar a análise do tempo de aplicação afetando o desempenho do sistema, uma vez que numa irrigação adequada a eficiência de armazenamento e a uniformidade de distribuição d'água são 100%, restando apenas na análise a eficiência de aplicação d'água. Variações em T_{av} são influenciadas por variações na vazão de entrada, nas características de infiltração, na seção transversal de fluxo, e na rugosidade da superfície, considerando, obviamente, que o comprimento e declividade dos sulcos, se manterão constantes; já as variações em τ são reflexos apenas das variações nas características de infiltração e na lâmina d'água requerida.

Verifica-se que o tempo de aplicação médio no primeiro evento de irrigação foi de 284min, bem maior que do segundo ao sétimo evento de irrigação, devendo-se isto, principalmente, à rugosidade e porosidade do solo elevadas por um recente preparo de solo, como também à necessidade de se elevar o teor de umidade atual do solo à capacidade de campo; do segundo ao sétimo evento de irrigação, o tempo de aplicação médio apresentou uma diminuição substancial, variando crescentemente de 26 a 163min devido, portanto, à redução na porosidade drenável ocasionada por rearranjo estrutural do solo que diminuiu o tempo de avanço no final da área (Tabela 12). Do oitavo evento de irrigação em diante o tempo de aplicação continuou crescendo, mas agora apresentando valores superiores ao do primeiro evento (exceto para o último evento). O aumento crescente no tempo de aplicação d'água, do segundo ao décimo primeiro evento de

irrigação, mostra, principalmente, que o efeito das reduções na capacidade de infiltração d'água do solo (Tabelas 9, 10 e 11) neste parâmetro operacional (através de reduções no tempo de avanço no final da área) foi menor que os efeitos dos aumentos da seção transversal de fluxo (Tabelas 5, 6, 7 e 8) e da rugosidade, ambos aumentando o tempo de avanço (Tabela 12), e da diminuição das taxas de infiltração e aumento na lâmina requerida (Tabela 2), que aumentaram o tempo de oportunidade de infiltração requerido para se conseguir a condição de irrigação adequada. Deve-se lembrar que a partir do segundo evento de irrigação, a rugosidade passou por um processo de diminuição; mas depois de um certo tempo foi aumentando com o surgimento de ervas daninhas no interior dos sulcos. As variações temporais (Tabelas 3 e 4) nas vazões de entrada também, certamente, tiveram influência no tempo de aplicação.

A média, a estimativa de intervalo a 95% de confiança e o coeficiente de variação do tempo de aplicação d'água obtidos, ao longo do tempo e do espaço, foram de 206min, de 174 a 238min e de 66,7%, respectivamente. Estes valores mostram o quanto a heterogeneidade das características de infiltração, bem como da vazão, do perímetro molhado dos sulcos e da lâmina requerida ao longo do tempo e do espaço afeta a otimização do tempo de aplicação.

4.7. Efeito da Variação Espacial e Temporal do Tempo de Aplicação no Desempenho

As Tabelas 15, 16 e 17, e a Figura 25, mostram as variações espacial e temporal do desempenho do sistema. Demonstrou-se através da análise da distribuição de frequência dos dados, ao longo do tempo e do espaço, que tanto a eficiência de aplicação d'água, E_a (Tabela 15) quanto a taxa de escoamento, TE (Tabela 16) apresentaram distri-

TABELA 15. Variação espacial e temporal da Eficiência de aplicação, Ea (%), do sistema de irrigação por sulcos num solo franco-arenoso

EVENTOS DE IRRIGAÇÃO	SULCOS DE IRRIGAÇÃO						MÉDIA ESPACIAL	DESVIO PADRÃO	VALOR		AMP. ^a TOTAL	I. C. (95%) ^b		CV ^e (%)
	01	02	03	04	05	06			MÍN.	MÁX.		L. I. ^c	L. S. ^d	
01	82,6	95,3	56,3	86,1	66,0	64,3	75,1	15,1	56,3	95,3	39,0	59,3	90,9	20,1
02	33,1	38,6	36,1	72,3	43,6	60,8	47,4	15,6	33,1	72,3	39,2	31,0	63,8	33,0
03	60,3	76,3	71,1	67,3	65,0	41,4	63,6	12,1	41,4	76,3	34,9	50,8	76,3	19,1
04	69,0	70,7	72,6	65,3	58,3	44,7	63,4	10,5	44,7	72,6	27,9	52,4	74,4	16,5
05	66,1	76,6	44,7	72,7	62,0	47,6	61,6	13,0	44,7	76,6	31,9	47,9	75,3	21,2
06	76,9	77,8	64,5	78,7	62,8	71,3	72,0	7,0	62,8	78,7	15,9	64,7	79,3	9,7
07	70,8	71,3	55,2	59,3	67,3	38,6	60,4	12,5	38,6	71,3	32,7	47,3	73,5	20,6
08	72,1	78,7	56,2	62,8	50,6	41,5	60,3	13,8	41,5	78,7	37,2	45,9	74,8	22,8
09	77,2	90,9	61,1	63,3	53,6	83,8	71,7	14,5	53,6	90,9	37,3	56,4	86,9	20,3
10	76,8	74,6	63,4	63,5	60,2	77,3	69,3	7,7	60,2	77,3	17,1	61,2	77,4	11,2
11	82,1	80,8	68,3	61,3	80,8	65,3	73,1	9,2	61,3	82,1	20,8	63,4	82,8	12,6
12	83,2	81,1	65,3	76,6	79,5	69,0	75,8	7,1	65,3	83,2	17,9	68,3	83,3	9,4
MÉDIA TEMPORAL	70,9	76,1	59,6	69,1	62,5	58,8	66,1							
D. PADRÃO ^f	13,8	13,8	10,7	8,2	10,7	15,5		13,5						
VALOR	MÍN.	33,1	38,6	36,1	59,3	43,6	38,6		33,1					
	MÁX.	83,2	95,3	72,6	86,1	80,8	83,8			95,3				
AMP. TOTAL	50,1	56,7	36,5	26,8	37,2	45,2					62,2			
I. C. (95%)	L. I.	62,1	67,3	52,7	63,9	55,7	49,0					63,0		
	L. S.	79,6	84,8	66,4	74,3	69,3	68,6						69,3	
CV (%)	19,5	18,2	18,0	11,9	17,2	26,3								20,4

^a Amplitude total, ^b Estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^c Limite inferior da estimativa do intervalo a 95% de confiança,

^d Limite superior da estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^e Coeficiente de variação, ^f Desvio padrão

A quantificação dos parâmetros estatísticos na diagonal, correspondem à variação da eficiência de aplicação ao longo do tempo e do espaço

TABELA 16. Variação espacial e temporal da taxa de escoamento, TE (%), do sistema de irrigação por sulcos num solo franco-arenoso

EVENTOS DE IRRIGAÇÃO	SULCOS DE IRRIGAÇÃO						MÉDIA ESPACIAL	DESVIO PADRÃO	VALOR		AMP. ^a TOTAL	I. C. (95%) ^b		CV ^e (%)
	01	02	03	04	05	06			MÍN.	MÁX.		L. I. ^c	L. S. ^d	
01	10,5	4,3	41,1	13,1	33,7	35,5	23,0	15,5	4,3	41,1	36,8	6,8	39,3	67,3
02	0,5	0,5	0,6	7,0	0,6	20,3	4,9	8,0	0,5	20,3	19,8	-3,4	13,3	162,0
03	5,5	0,0	11,8	21,2	23,4	57,1	19,8	20,3	0,0	57,1	57,1	-1,5	41,2	102,5
04	10,6	5,1	17,5	27,1	33,6	55,2	24,9	18,2	5,1	55,2	50,1	5,8	43,9	73,1
05	19,5	7,4	50,7	18,9	31,6	52,3	30,1	18,3	7,4	52,3	44,9	10,9	49,3	60,8
06	8,5	10,8	30,2	15,1	34,6	23,4	20,4	10,7	8,5	34,6	26,1	9,2	31,6	52,2
07	18,1	8,3	41,5	38,6	27,1	61,3	32,5	18,8	8,3	61,3	53,0	12,7	52,2	57,9
08	27,2	16,6	41,4	37,1	49,3	58,4	38,3	15,0	16,6	58,4	41,8	22,6	54,1	39,2
09	19,4	4,9	37,1	36,5	46,1	15,5	26,6	15,7	4,9	46,1	41,2	10,1	43,1	59,1
10	21,5	23,1	33,4	35,7	37,9	22,5	29,0	7,4	21,5	37,9	16,4	21,2	36,8	25,6
11	14,6	18,7	29,4	37,9	17,2	34,5	25,4	9,8	14,6	37,9	23,3	15,1	35,7	38,8
12	13,4	10,0	30,1	18,4	18,4	30,5	20,1	8,5	10,0	30,5	20,5	11,2	29,0	42,2
MÉDIA TEMPORAL	14,1	9,1	30,4	25,6	29,5	38,9	24,6							
D. PADRÃO^f	7,5	7,2	14,2	11,3	13,3	17,0		15,6						
VALOR	MÍN.	0,5	0,0	0,6	7,0	0,6	15,5		0,0					
	MÁX.	27,2	23,1	50,7	38,6	49,3	61,3		61,3					
AMP. TOTAL	26,7	23,1	50,1	31,6	48,7	45,8					61,3			
I. C. (95%)	L. I.	9,4	4,6	21,4	18,4	21,0	28,1					20,9		
	L. S.	18,9	13,7	39,4	32,7	37,9	49,6						28,3	
CV (%)	53,0	78,4	46,8	44,2	45,3	43,6								63,4

^a Amplitude total, ^b Estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^c Limite inferior da estimativa do intervalo a 95% de confiança,

^d Limite superior da estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^e Coeficiente de variação, ^f Desvio padrão

A quantificação dos parâmetros estatísticos na diagonal, correspondem à variação da taxa de escoamento superficial ao longo do tempo e do espaço

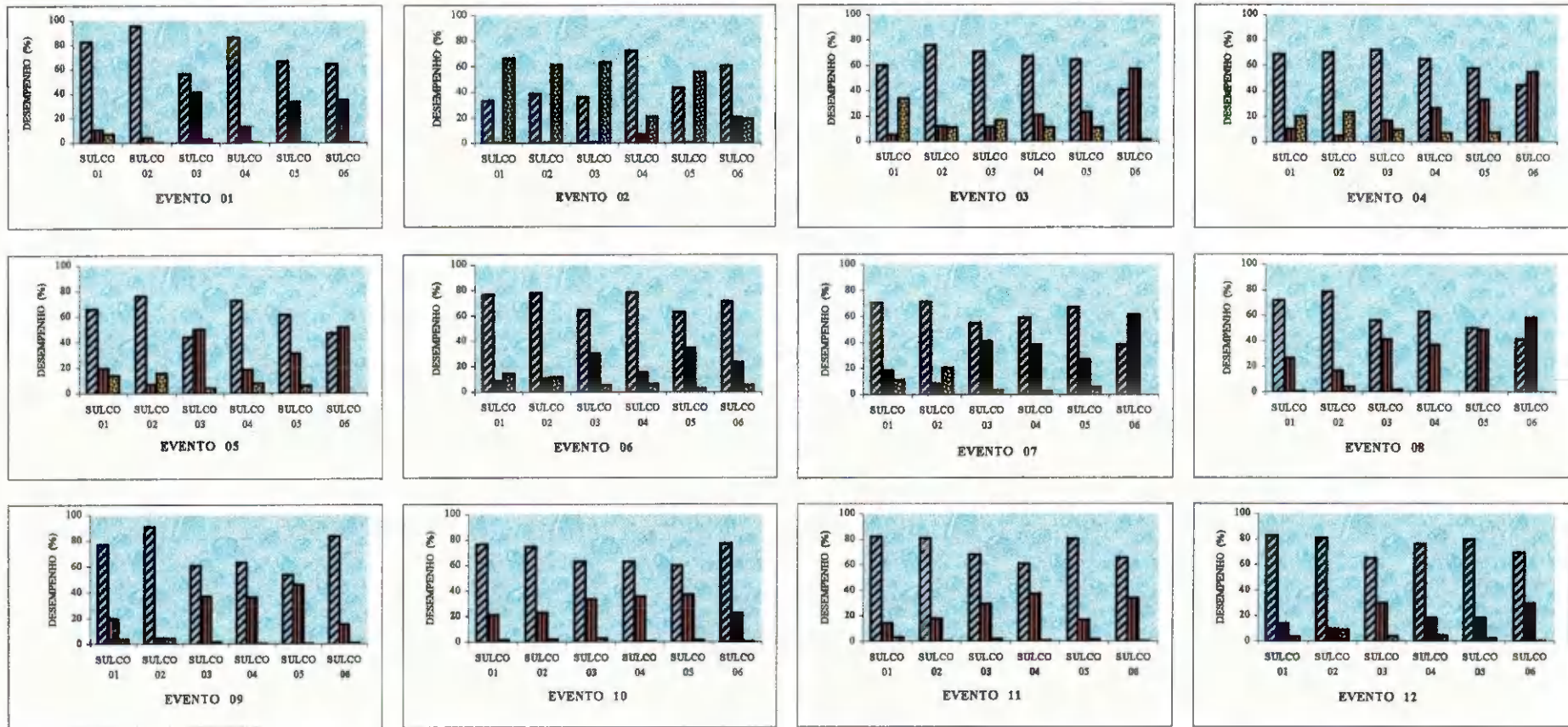
TABELA 17. Variação espacial e temporal da taxa de percolação, TP (%), do sistema de irrigação por sulcos num solo franco-arenoso

EVENTOS DE IRRIGAÇÃO	SULCOS DE IRRIGAÇÃO						ESPACIAL		DESVIO	VALOR		AMP. ^b	I. C. (95%) ^c		CV ^f (%)
	01	02	03	04	05	06	MED. ^g	MÉDIA	PADRÃO	MÍN.	MÁX.	TOTAL	L. I. ^d	L. S. ^e	
01	6,9	0,4	2,6	0,8	0,3	0,2	0,6	1,9	2,6	0,2	6,9	6,7	-0,9	4,6	140,5
02	66,4	60,9	63,3	20,7	55,8	18,9	58,4	47,7	21,9	18,9	66,4	47,5	24,7	70,6	45,9
03	34,2	23,7	17,1	11,5	11,6	1,5	14,4	16,6	11,3	1,5	34,2	32,7	4,7	28,5	68,1
04	20,4	24,2	9,9	7,6	8,1	0,1	9,0	11,7	8,9	0,1	24,2	24,1	2,3	21,1	76,3
05	14,4	16,0	4,6	8,4	6,4	0,1	7,4	8,3	6,0	0,1	16,0	15,9	2,0	14,6	72,4
06	14,6	11,4	5,3	6,2	2,6	5,3	5,8	7,6	4,5	2,6	14,6	12,0	2,8	12,3	59,4
07	11,1	20,4	3,3	2,1	5,6	0,1	4,5	7,1	7,5	0,1	20,4	20,3	-0,8	15,0	106,1
08	0,7	4,7	2,4	0,1	0,1	0,1	0,4	1,4	1,9	0,1	4,7	4,6	-0,6	3,3	138,3
09	3,4	4,2	1,1	0,2	0,3	0,7	0,9	1,7	1,7	0,2	4,2	4,0	-0,1	3,4	103,9
10	1,7	2,3	3,2	0,8	1,9	0,2	1,8	1,7	1,1	0,2	3,2	3,0	0,6	2,8	63,5
11	3,3	0,5	2,3	0,8	2,0	0,2	1,4	1,5	1,2	0,2	3,3	3,1	0,2	2,8	79,7
12	3,4	8,9	4,6	5,0	2,1	0,5	4,0	4,1	2,9	0,5	8,9	8,4	1,1	7,1	70,6
TEMP. ^h	MED.	9,0	10,2	4,0	3,6	2,4	0,2	3,4							
	MÉDIA	15,0	14,8	10,0	5,4	8,1	2,3	9,3							
D. PADRÃO ^b		18,8	16,9	17,4	6,1	15,4	5,4					14,7			
VALOR	MÍN.	0,7	0,4	1,1	0,1	0,1	0,1					0,1			
	MÁX.	66,4	60,9	63,3	20,7	55,8	18,9					66,4			
AMP. TOTAL		65,7	60,5	62,2	20,6	55,7	18,8					66,3			
I. C. (95%)	L. I.	3,1	4,0	-1,1	1,4	-1,7	-1,1						5,8		
	L. S.	27,0	25,6	21,0	9,3	17,9	5,8						12,7		
CV (%)		125,3	114,4	174,0	114,9	191,5	233,3								158,4

^g Mediana, ^b Amplitude total, ^c Estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^d Limite inferior da estimativa do intervalo a 95% de confiança,

^e Limite superior da estimativa do intervalo a 95% de confiança, ^f Coeficiente de variação, ^h Temporal, ⁱ Desvio padrão

A quantificação dos parâmetros estatísticos na diagonal, correspondem à variação da taxa de percolação ao longo do tempo e do espaço



EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO
 TAXA DE ESCOAMENTO
 TAXA DE PERCOLAÇÃO

FIGURA 25. Variação espacial e temporal do desempenho do sistema de irrigação por sulcos num solo franco

buição normal; enquanto que a taxa de percolação, TP (Tabela 17) ajustou-se a uma distribuição lognormal, sendo portanto mais sensato utilizar a mediana como medida de posição para representar esse parâmetro de desempenho, pois verifica-se, na mesma tabela, que as médias aritméticas obtidas, tanto ao longo do tempo como do espaço, foram bastante afetadas por valores extremos.

Nas Tabelas 15, 16 e 17, em relação ao coeficiente de variação (CV), constata-se que a variação espacial nas Ea, TE e TP, ao longo da estação de cultivo, oscilou de 9,4 a 33,0%, de 25,6 a 162,0% e de 45,9 a 140,5%, respectivamente. Enquanto que a variação temporal, no sentido transversal da área irrigada, oscilou de 11,9 a 26,3%, de 43,6 a 78,4% e de 114,4 a 233,3%, respectivamente, para Ea, TE e TP. De acordo com os limites de CV sugeridos por Warrick & Nielsen (1980), pode-se afirmar que, ao longo do tempo, a Ea apresentou variação espacial de baixa (CV < 12%) a média (12% ≤ CV ≤ 60%), enquanto que as TE e TP apresentaram variação espacial de média a alta (CV > 60%). Ao longo do espaço, a Ea apresentou variação temporal de baixa a média, a TE apresentou variação temporal de média a alta, e a TP apresentou variação temporal alta. Ao longo do tempo, as maiores desuniformidades nas Ea e TE ocorreram no segundo evento de irrigação, ao passo que na TP ocorreu no primeiro evento de irrigação. Isto pode ser comprovado verificando que, são nestes eventos de irrigação que se têm os maiores coeficientes de variação e proporções entre a amplitude total e a média aritmética. Pelo mesmo motivo anterior, ao longo do espaço, as maiores desuniformidades nas Ea e TP ocorreram no sulco 05, enquanto que na TE ocorreu no sulco 02.

Observa-se que, no primeiro evento de irrigação, a eficiência de aplicação variou entre 56,3 a 95,3%, apresentado uma média de 75,1% ao longo da área. Mesmo o solo encontrando-se recém preparado, as perdas por percolação foram mínimas (mediana espacial igual a 0,6%) devido a uma grande lâmina d'água aplicada, requerida para elevar

o teor de umidade do solo à capacidade de campo. As perdas por escoamento nos sulcos de irrigação 03, 05 e 06 foram elevadas (de 33,7 a 41,1%) devido, provavelmente, à vazão aplicada nesses sulcos, durante a fase de armazenamento, encontrar-se bem acima da capacidade de infiltração básica d'água no solo, significando que nesses sulcos a redução nessas vazões deveria ter sido maior que a adotada nesta pesquisa (em torno de 50%). Nos demais sulcos, o somatório dessas perdas não ultrapassaram os 30% o que é ideal, conforme Bernardo (1995). No segundo evento de irrigação, a eficiência de aplicação variou, espacialmente, entre 33,1 a 72,3%. Sua média espacial caiu substancialmente para 47,4%, decorrente, principalmente, da aplicação de uma pequena lâmina d'água, que resultou em elevadas perdas por percolação (mediana de 58,4%) com significativa variação, entre 18,9 a 66,4%. Por outro lado, o pequeno tempo de oportunidade requerido para aplicar essa lâmina no final da área, favoreceu pequenas perdas por escoamento (em média 4,9%). Ao longo do tempo, as médias espaciais da eficiência de aplicação estiveram entre 60,3% a 75,8%, podendo ter sido melhores ainda, caso as taxas de escoamento tivessem sido minimizadas. A partir do terceiro evento de irrigação, as médias espaciais das taxas de escoamento variaram ao longo do tempo entre 19,8 a 38,3%. Como o tempo de aplicação adotado foi o necessário para satisfazer a condição de irrigação adequada, essas elevadas taxas foram, então, devido às vazões de entrada elevadas, aplicadas durante a fase de armazenamento, que variaram no sentido transversal da área irrigada. As médias temporais da taxa de escoamento, isoladamente em cada sulco, foram também elevadas, exceto nos sulcos 01 e 02, e variaram entre 9,1 a 38,9%, principalmente devido ao motivo anteriormente mencionado. Essas taxas poderiam ter sido minimizadas se a vazão de entrada, ao término da fase de avanço, tivesse sofrido uma redução menor (em relação ao adotado nesta pesquisa) e diferenciada de um evento de irrigação a outro, de forma a se compensar as alterações temporais nas características de infiltração d'água no solo. Nesta

pesquisa estabeleceu-se uma taxa de redução constante de 50%. Essas alterações foram, no entanto, consideradas na duração da fase de armazenamento, que, para cada evento de irrigação, foi determinada em tempo real no campo. Quanto às perdas por percolação, constata-se que, tanto ao longo do espaço, exceto no evento 02, como do tempo, elas apresentaram, na maioria dos casos, valores medianos baixos e com pequenas variações. Os valores baixos se devem a uma escolha adequada da vazão de entrada aplicada durante a fase de avanço, e suas pequenas variações demonstram que ocorreram variações pequenas nessa vazão. Observa-se, também, que tanto as perdas por percolação como suas variações, foram maiores ao longo do tempo. Isto aconteceu porque ocorreram variações nas características de infiltração d'água no solo bem maiores ao longo do tempo que espacialmente. Além do mais, os requerimentos de lâmina d'água aplicada variaram em função da demanda evapotranspirativa da cultura, ao longo de sua estação de cultivo, como também ocorreu uma demanda d'água diferenciada ao longo do canal principal, de um evento de irrigação a outro, gerando variações temporais na vazão de entrada em cada lote do perímetro. Verifica-se que as perdas por escoamento afetaram muito mais a eficiência de aplicação que as por percolação. Vale salientar que as lâminas d'água, requeridas para se atingir a condição de irrigação adequada, ao longo da área em cada evento de irrigação, foram comuns a todos os sulcos. Assim sendo, as variações espaciais no tempo de aplicação d'água (tempo esse que afeta ambas as perdas) são atribuídas às variações na duração das fases de avanço e armazenamento, como decorrência de variações tanto na vazão de entrada como nas características de infiltração. Entretanto, as variações temporais nesse parâmetro operacional foram, também, afetadas pela dinâmica da demanda evapotranspirativa da cultura. Diante de tamanha variabilidade espacial e temporal constatada no desempenho do sistema de irrigação por sulco estudado, a questão fundamental que surge é: qual critério utilizar para se estimar um desempenho global. Por

exemplo, no segundo evento de irrigação a eficiência de aplicação no primeiro sulco foi de 33,1%, enquanto que no quarto sulco o valor foi de 72,3%. No quinto sulco, os valores da eficiência de aplicação foram de 43,6% e 80,8%, respectivamente, no segundo e décimo primeiro eventos. Vale salientar, entretanto, que uma estimativa global do desempenho do sistema torna-se mais precisa à medida que vão diminuindo, ao longo do tempo, as variações nos parâmetros de campo. Este estudo demonstra a complexidade do manejo dos sistemas de irrigação por sulcos.

5. CONCLUSÕES

- 1) Ao longo do tempo e do espaço, os valores mínimo e máximo do tempo de avanço, do tempo de oportunidade e do tempo de aplicação, foram, respectivamente, 15 e 62min, 1 e 517min, e 19 e 533min. Essas amplitudes nos referidos tempos geraram variações espaciais máximas, ao longo da estação de cultivo, iguais a 49,8%, 94,2% e 41,8%, respectivamente, nos tempos de avanço, oportunidade de infiltração e aplicação. Especialmente, as variações temporais máximas foram 26,3%, 89,9% e 71,6%, respectivamente, nos tempos de avanço, oportunidade de infiltração e aplicação.

- 2) Ao longo do tempo e do espaço, os valores mínimo e máximo da eficiência de aplicação, da taxa de escoamento e da taxa de percolação, foram, respectivamente, 33,1% e 95,3%, 0 e 61,3%, e 0,1 e 66,4%. Essas amplitudes geraram variações espaciais máximas, ao longo da estação de cultivo, iguais a 33,0%, 162,0% e 140,5%, respectivamente, na eficiência de aplicação, na taxa de escoamento e na taxa de percolação. Especialmente, as variações temporais máximas foram 26,3%, 78,4% e 233,3%, respectivamente, na eficiência de aplicação, na taxa de escoamento e na taxa de percolação.

- 3) Este estudo mostra a importância de se fazer um monitoramento sistemático, tanto ao longo do tempo como do espaço, nas variações nos parâmetros de campo e operacionais da irrigação por sulcos, de forma a se ter uma estimativa do desempenho do sistema de irrigação o mais representativa possível das condições globais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM NETO, M. da S.; BELTRÃO, N. E. de M. **Determinação da época de irrigação em algodoeiro herbáceo por via climatológica.** Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1992. 17p. (EMBRAPA-CNPA. Comunicado Técnico, 34)
- ANDRADE, A. R. S. de **Características físico - hídricas da estação experimental da EMBRAPA - Algodão. Variabilidade espacial.** Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1997. 92p. (Dissertação de Mestrado em Irrigação e Drenagem).
- ANDRADE, D. V. de; BOTREL, T. A.; SILVA PAZ, V. P. da; FRIZZONE, J. A. Modelo matemático para simulação da fase de avanço na irrigação por sulcos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2 n.1, p.56-62, 1998.
- AZEVEDO, C. A. V. de. **Real - time solution of the inverse furrow advance problem.** Utah: S. Ed. 1992, 263p. Tese (Doutorado) - Universidade de Utah.
- AZEVEDO, C. A. V., WALKER, W. R., MERKLEY, G. P. Modelo de ondas cinemáticas na solução do problema inverso da irrigação por sulco em tempo real. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 1, p. 35-41, 1997a.
- AZEVEDO, C. A. V., WALKER, W. R., MERKLEY, G. P. Otimização não-linear na solução do problema inverso da irrigação por sulcos em tempo real. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 1, p. 43-49, 1997b.

- AZEVEDO, C. A. V. de. Modelagem em sistemas de checagem e controle de irrigação por sulcos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, 1993, Anais Ilheus: SBEA, 1993.
- BARRETO, A. N.; BEZERRA, J. R. C.; SILVA, M. J. da & AMORIM NETO, M. da S. **Irrigação por bacias em nível na cultura do algodoeiro.** Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1997. 40p. (EMBRAPA-CNPA. Circular Técnica, 26)
- BERNARDO, S. Determinação da perda d'água por percolação e por runoff em irrigação por sulcos. **Revista Ceres**, Viçosa, v.25 n.138, p.169-178, 1978.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação.** 6. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1995. 657p.
- CAHOON, J. E. Defining furrow cross section. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, ASCE, 1995. v 121, n 1, p 114-119.
- CAMACHO, E.; PÉREZ-LUCENA, C.; ROLDÁN-CAÑAS, J.; ALCAIDE, M. IPE: Model for management and control of furrow irrigation in real time. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, ASCE, 1997. v 123, n 4, p 264-269.
- CARVALHO, D. F. de; OLIVEIRA, L. F. C. de; PRUSKI, F. F.; SOARES, A. A. & MANTOVANI, E. C. Influência do perfil geométrico do sulco no desempenho da irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24. 1995. Anais, Viçosa: SBEA, 1995.
- CARVALHO, D. F.; SOARES, A. A.; RAMOS, M. M. & MARTINS, J. H. **Simulação das fases de avanço e recessão nas irrigações contínuas e intermitente, utilizando o modelo zero-inércia.** Engenharia na Agricultura, Série Irrig. e Drenagem / Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais. v. 3, n. 37, 1994.

- CASTROS, L. C. A. & SOUZA, F. Análise dos parâmetros de infiltração na irrigação por sulcos utilizando a metodologia do balanço de volume. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27. 1998. Anais, Poços de Caldas: SBEA, 1998.
- CID LAZO, G. Estudios preliminares de suelos para proyectos de riego, drenaje y/o recuperación de suelos salinos. In: CURSO DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA, 1997, C. Grande. Universidade Federal da Paraíba / PRAI. p. 1-18.
- COSTA NETO, P. L. de O. Estatística. 15 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1997. 264p.
- DAKER, A. Irrigação e Drenagem; A água na agricultura. 7.ed. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos, 1988. v.3. 543p.
- DARÉ, A. L.; MATTOS, A.; DARÉ NETO, L. Simulação da irrigação por sulcos através da programação do modelo de balanço de volumétrico In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25. 1996. Anais, Bauru: SBEA, 1996. Resumos.
- ELLIOTT, R. L., WALKER, W. R. Furrow irrigation infiltration and advance functions. *Transactions of the ASAE*, 1980. vol. 25, n. 2, 396-400p.
- ENCISO-MEDINA, J.; MARTIN, D.; EISENHAUER, D. Infiltration model for furrow irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*, 1998. v 124, n 2, p 73-80
- GARRIDO, M. A. T. Influência do regime de fluxo sobre a infiltração e o avanço de água em sulcos de irrigação. In: XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22. 1993. Anais, Ilhéus: SBEA, 1993.
- HENRIQUE, J. Influência dos parâmetros de campo no desempenho dos sistemas de irrigação por sulcos. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1996. 66p. (Dissertação de Mestrado em Irrigação e Drenagem).

- HENRIQUE, J., AZEVEDO, C. A. V., BARRETO, A. N., BEZERRA, J. R. C., DANTAS NETO, J. Efeitos da infiltração no desempenho da irrigação por sulco simulada em solo franco-arenoso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26. 1997. *Anais*, Campina Grande: SBEA, 1997a. CD ROM.
- HENRIQUE, J., AZEVEDO, C. A. V., BARRETO, A. N., BEZERRA, J. R. C., DANTAS NETO, J. Efeitos do comprimento de sulcos no desempenho das irrigações simuladas em solo franco-arenoso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26. 1997. *Anais*, Campina Grande: SBEA, 1997b. CD ROM.
- HENRIQUE, J., AZEVEDO, C. A. V., BARRETO, A. N., BEZERRA, J. R. C., DANTAS NETO, J. Efeito do comprimento de sulcos no desempenho de um sistema para um solo franco-argilo-siltoso da Fazenda Kimberly Wheel-USA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26. 1997. *Anais*, Campina Grande: SBEA, 1997c. CD ROM.
- HENRIQUE, J., AZEVEDO, C. A. V., BARRETO, A. N., BEZERRA, J. R. C., DANTAS NETO, J. Variabilidade espacial e temporal na seção transversal de sulcos no perímetro irrigado de São Gonçalo-PB. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26. 1997. *Anais*, Campina Grande: SBEA, 1997d. CD ROM.
- HOAGLIN, D. C.; MOSTELLER, F.; TYKEY, J. W. *Análise exploratória de dados: técnicas robustas, um guia*. Lisboa: Editora Salamandra, 1983. 446p.
- KLAR, A. E. *Irrigação; frequência e quantidade de aplicação*. São Paulo: Nobel, 1991. 153p.
- LIMA FILHO, A. F. Software para avaliação da irrigação por sulcos abertos e em declive. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25. 1996. *Anais*, Bauru: SBEA, 1996. Resumos.

LIMA FILHO, A. F. & SOUZA, F. Variabilidade temporal da infiltração em solos irrigados por sulcos abertos e em declive. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27. 1998. Anais, Poços de Caldas: SBEA, 1998.

MACHADO, M. C.; OLIVEIRA, A. D.; FREITAS, M. C.; VIEIRA, L. B. Influência do número de hastes do perfilômetro na avaliação da rugosidade superficial de um solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25. 1996. Bauru: SBEA, 1996. Resumos.

MARA. Departamento Nacional de Meteorologia. Normais climatológicas. Brasília: MARA-DNMET, 1992.

MARTIN-BENITO, J. M. T. La aplicación del agua con el riego y su evaluación. In: MAÑAS, F. M. S. O. & VALERO, J. A. J. *Agronomía del riego*. Madrid: Mundi-prensa, 1993. IX cap.

OLITTA, A. F. L. *Os métodos de irrigação*. São Paulo: Nobel; 1977, 267p.

OLIVEIRA, J. J. de. Variabilidade espacial de características químicas em um solo salino-sódico. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1998. 98p. (Dissertação de Mestrado em Irrigação e Drenagem).

POPOVA, Z. & KUNCHEVA, R. Modeling in water losses evaluation for nonhomogeneous furrow set. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*, v. 122, n. 1, p 1-6, 1996.

RAGHUWANSHI, N. S.; WALLENDER, W. W. Modeling seasonal furrow irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*, v. 122, n. 4, p 235-242, 1996.

- RIVERA, R. C.; CASTRO, L.C. A. de & SOUZA, F. de Variação dos parâmetros de infiltração na irrigação por sulco ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do feijão (*Vigna unguiculata L. walp*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24. 1995. *Anais*, Viçosa: SBEA, 1995.
- SANTANA, E. F. Monitoramento sazonal do desempenho de um sistema de irrigação por sulco no perímetro irrigado de São Gonçalo-PB. Campina Grande: Universidade Federal, 1996. 96p. (Dissertação de Mestrado em Irrigação e Drenagem).
- SANTANA, E. F. de, AZEVEDO, C. A. V., BARRETO, A. N., DANTAS NETO, J., BEZERRA, J.R.C. Monitoramento sazonal do desempenho de um sistema de irrigação por sulcos no perímetro irrigado de São Gonçalo-PB. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26. 1997. *Anais*, Campina Grande: SBEA, 1997a. CD ROM.
- SANTANA, E. F., AZEVEDO, C. A. V., BARRETO, A. N., DANTAS NETO, J., BEZERRA, J. R. C. Monitoramento espacial e temporal da fase de avanço no sulco na cultura do algodoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 1. 1997. *Anais*, Fortaleza: EMBRAPA, 1997b. p. 368-371.
- SANTANA, E. F., AZEVEDO, C. A. V., BARRETO, A. N., DANTAS NETO, J., BEZERRA, J. R. C. Monitoramento temporal e sazonal da infiltração do sulco na cultura do algodoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 1. 1997. *Anais*, Fortaleza: EMBRAPA, 1997c. p. 372-375.
- SANTANA, E. F., AZEVEDO, C. A. V., BARRETO, A. N., DANTAS NETO, J., BEZERRA, J. R. C. Monitoramento sazonal e temporal do perfil geométrico do sulco na cultura do algodoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 1. 1997. *Anais*, Fortaleza: EMBRAPA, 1997d. p. 376-379.
- SARAIVA, J.O.C. Parametrização do método de irrigação por sulcos no vale do Açu-RN. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1986. 82p. (Dissertação de Mestrado em Irrigação e Drenagem).

- SCALOPPI, E. J. Sistema de irrigação por superfície. *Informe Agropecário*. v. 12, n. 139, p. 12-26. 1986.
- SCALOPPI, E. J.; MERKLEY, G. P.; WILLARDSON, L. S. Intake parameters from advance and wetting phases of surface irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*, v. 121, n. 1, p 57-70, 1995.
- SOARES, M. J.; BERNARDO, S.; BRITO, R. A. L. Análise comparativa entre o uso de vazão constante e redução da vazão inicial e seu efeito na eficiência de irrigação por sulcos. *Revista Turrialba*, v.31, n.4, p. 343-350. 1981.
- SOARES, M. J.; MAGALHÃES, A. A. ROSA, J. I. F. da Eficiência de irrigação em sulcos parcialmente fechados no final. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.20, n.3, p. 361-369. 1985.
- SOUSA, E. F. de Modelo de computação aplicado ao manejo de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22. 1993. *Anais*, Ilhéus: SBEA, 1993.
- TROUT, T. J. Furrow geometric parameters. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*, New york, v. 117, n. 5, p. 613-634, 1991.
- WALKER, W. R.; SKOGERBOE, G. V. *Surface Irrigation: Theory and Practice*. Utah: 1987. 470p.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. ed. *Application of soils physics*. New York: Academic Press, 1980. cap. 13, p. 319-344.
- WINTER, B. & VIPOND, S. *Irrigação: Projeto e Prática*. Tradução de Francisco da Costa Verdade. São Paulo: EPU, 1987. 339p. Tradução de: *Irrigation: Desining and pratice*

APÊNDICE A

TABELA A1. Dados médios do projeto de irrigação por sulcos com redução de fluxo

Descrição dos parâmetros	Dados de campo
Tipo de solo	Franco-arenoso
Declividade da superfície	
Sentido transversal (m/m)	0,001
Sentido longitudinal (m/m)	0,004
Rugosidade da superfície	0,013
Largura da área (m)	85
Comprimento dos sulcos (m)	73
Espaçamento dos sulcos (m)	1,60
Número de sulcos	53*
Vazão de entrada	
Inicial (l/s)	1,12
Reduzida (l/s)	0,61
Regime de fluxo	contínuo
Parâmetros de infiltração	
k (m ³ /min/m)	0,01011
a	0,269
fo (m ³ /min/m)	0,000152
Seção do sulco	
Largura do topo (m)	0,329
Altura máxima (m)	0,071
Largura a 50% da alt. máx. (m)	0,212
Largura da base (m)	0,044
Tempo de:	
Avanço (min)	30
Oportunidade (min)	177

* Sulcos irrigados simultaneamente

APÊNDICE B

TABELA B1. Trajetórias de avanços medido e simulado pelo modelo SIRTOM para o primeiro evento de irrigação num solo franco-arenoso

DISTÂNCIA DE AVANÇO (m)	SULCOS DE IRRIGAÇÃO																	
	01			02			03			04			05			06		
	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)
	medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7,3	1,0	2,4	-1,4	2,0	2,1	-0,1	3,0	3,1	-0,1	1,0	1,8	-0,8	1,0	1,4	-0,4	1,0	1,5	-0,5
14,6	3,0	5,1	-2,1	4,0	4,5	-0,5	5,0	5,4	-0,4	4,0	3,7	0,3	3,0	2,8	0,2	2,0	2,9	-0,9
21,9	7,0	8,3	-1,3	6,0	7,5	-1,5	8,0	7,8	0,2	5,0	5,8	-0,8	5,0	4,4	0,6	3,0	4,5	-1,5
29,2	11,0	12,7	-1,7	11,0	11,6	-0,6	10,0	10,4	-0,4	8,0	8,4	-0,4	7,0	5,9	1,1	6,0	6,2	-0,2
36,5	15,0	17,6	-2,6	17,0	16,6	0,4	15,0	13,2	1,8	10,0	11,6	-1,6	10,0	8,0	2,0	9,0	8,2	0,8
43,8	18,0	23,4	-5,4	22,0	22,6	-0,6	18,0	16,1	1,9	14,0	15,4	-1,4	14,0	10,3	3,7	11,0	10,5	0,5
51,1	23,0	29,8	-6,8	33,0	29,5	3,5	22,0	19,2	2,8	16,0	19,6	-3,6	17,0	13,0	4,0	14,0	13,2	0,8
58,4	34,0	36,9	-2,9	43,0	37,6	5,4	26,0	22,5	3,5	21,0	24,4	-3,4	25,0	15,9	9,1	19,0	16,1	2,9
65,7	41,0	44,8	-3,8	53,0	46,8	6,2	30,0	25,9	4,1	24,0	29,7	-5,7	28,0	19,1	8,9	24,0	19,3	4,7
73,0	48,0	53,5	-5,5	62,0	57,2	4,8	33,0	29,4	3,6	31,0	35,6	-4,6	32,0	22,6	9,4	27,0	22,7	4,3

TABELA B2. Trajetórias de avanços medido e simulado pelo modelo SIRTOM para o segundo evento de irrigação num solo franco-arenoso

DISTÂNCIA DE AVANÇO (m)	SULCOS DE IRRIGAÇÃO																	
	01			02			03			04			05			06		
	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)
	medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7,3	1,0	1,6	-0,6	2,0	1,9	0,1	2,0	2,3	-0,3	1,0	1,2	-0,2	1,0	1,3	-0,3	1,0	0,9	0,1
14,6	2,0	3,3	-1,3	3,0	3,9	-0,9	4,0	4,3	-0,3	2,0	2,5	-0,5	2,0	2,5	-0,5	2,0	1,7	0,3
21,9	5,0	5,3	-0,3	5,0	5,9	-0,9	6,0	6,2	-0,2	3,0	3,7	-0,7	3,0	3,9	-0,9	3,0	2,6	0,4
29,2	8,0	7,6	0,4	7,0	8,6	-1,6	8,0	8,3	-0,3	5,0	5,0	0,0	4,0	5,3	-1,3	5,0	3,4	1,6
36,5	10,0	10,4	-0,4	11,0	11,8	-0,8	11,0	10,7	0,3	6,0	6,4	-0,4	6,0	6,9	-0,9	7,0	4,2	2,8
43,8	13,0	13,9	-0,9	14,0	15,5	-1,5	13,0	13,3	-0,3	8,0	8,0	0,0	7,0	8,6	-1,6	8,0	5,0	3,0
51,1	16,0	17,7	-1,7	21,0	19,7	1,3	16,0	16,0	0,0	10,0	9,6	0,4	9,0	10,8	-1,8	10,0	5,8	4,2
58,4	22,0	22,0	0,0	25,0	24,3	0,7	19,0	19,0	0,0	11,0	11,6	-0,6	13,0	13,2	-0,2	12,0	6,7	5,3
65,7	28,0	26,8	1,2	29,0	29,5	-0,5	23,0	22,0	1,0	13,0	13,8	-0,8	16,0	15,8	0,2	15,0	7,5	7,5
73,0	33,0	32,1	0,9	33,0	35,2	-2,2	26,0	25,3	0,7	16,0	16,2	-0,2	18,0	18,6	-0,6	16,0	8,3	7,7

TABELA B3. Trajetórias de avanços medido e simulado pelo modelo SIRTOM para o terceiro evento de irrigação num solo franco-arenoso

DISTÂNCIA DE AVANÇO (m)	SULCOS DE IRRIGAÇÃO																	
	01			02			03			04			05			06		
	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		Dt (min)
	medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7,3	1,0	1,8	-0,8	1,0	1,8	-0,8	1,0	1,7	-0,7	1,0	1,2	-0,2	1,0	0,9	0,1	2,0	0,7	1,3
14,6	3,0	3,6	-0,6	2,0	3,7	-1,7	3,0	3,4	-0,4	2,0	2,3	-0,3	2,0	1,8	0,2	3,0	1,4	1,6
21,9	6,0	5,5	0,5	4,0	5,9	-1,9	5,0	5,2	-0,2	3,0	3,5	-0,5	3,0	2,7	0,3	4,0	2,1	1,9
29,2	9,0	7,9	1,1	6,0	8,9	-2,9	7,0	7,1	-0,1	5,0	4,8	0,2	4,0	3,8	0,2	6,0	2,8	3,2
36,5	11,0	10,7	0,3	10,0	12,8	-2,8	9,0	9,3	-0,3	6,0	6,1	-0,1	5,0	4,9	0,1	7,0	3,5	3,5
43,8	14,0	14,1	-0,1	20,0	17,3	2,7	11,0	12,0	-1,0	8,0	7,7	0,3	7,0	6,1	0,9	8,0	4,2	3,8
51,1	17,0	17,9	-0,9	22,0	22,4	-0,4	15,0	15,1	-0,1	10,0	9,3	0,7	9,0	7,6	1,4	10,0	4,9	5,1
58,4	24,0	22,1	1,9	25,0	28,2	-3,2	18,0	18,5	-0,5	12,0	11,2	0,8	12,0	9,1	2,9	13,0	5,7	7,3
65,7	29,0	26,8	2,2	30,0	34,8	-4,8	22,0	22,1	-0,1	14,0	13,5	0,5	14,0	11,1	2,9	15,0	6,4	8,6
73,0	34,0	31,9	2,1	35,0	42,1	-7,1	25,0	26,2	-1,2	17,0	15,9	1,1	17,0	13,2	3,8	18,0	7,2	10,8

TABELA B4. Trajetórias de avanços medido e simulado pelo modelo SIRTOM para o quarto evento de irrigação num solo franco-arenoso

DISTÂNCIA DE AVANÇO (m)	SULCOS DE IRRIGAÇÃO																	
	01			02			03			04			05			06		
	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		Dt (min)
	medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7,3	1,0	1,9	-0,9	1,0	1,7	-0,7	2,0	2,1	-0,1	1,0	1,1	-0,1	1,0	1,2	-0,2	1,0	0,8	0,2
14,6	3,0	3,9	-0,9	2,0	3,4	-1,4	4,0	4,1	-0,1	2,0	2,2	-0,2	2,0	2,4	-0,4	2,0	1,6	0,4
21,9	7,0	6,2	0,8	3,0	5,6	-2,6	6,0	6,0	0,0	3,0	3,4	-0,4	4,0	3,7	0,3	3,0	2,3	0,7
29,2	10,0	9,1	0,9	6,0	8,5	-2,5	8,0	8,2	-0,2	5,0	4,7	0,3	5,0	4,9	0,1	5,0	3,1	1,9
36,5	13,0	12,9	0,1	9,0	12,2	-3,2	10,0	10,6	-0,6	6,0	6,0	0,0	7,0	6,2	0,8	7,0	3,9	3,1
43,8	16,0	17,2	-1,2	13,0	16,6	-3,6	12,0	13,3	-1,3	8,0	7,6	0,4	9,0	7,7	1,3	8,0	4,7	3,3
51,1	21,0	22,1	-1,1	19,0	21,7	-2,7	15,0	16,3	-1,3	10,0	9,3	0,7	11,0	9,2	1,8	10,0	5,4	4,6
58,4	29,0	27,6	1,4	25,0	27,5	-2,5	19,0	19,4	-0,4	12,0	11,3	0,7	14,0	11,0	3,0	13,0	6,2	6,8
65,7	36,0	33,9	2,1	30,0	34,1	-4,1	22,0	22,8	-0,8	15,0	13,7	1,3	16,0	12,8	3,2	15,0	7,1	7,9
73,0	43,0	40,8	2,2	34,0	41,6	-7,6	25,0	26,4	-1,4	18,0	16,2	1,8	19,0	14,9	4,1	17,0	7,9	9,1

TABELA B5. Trajetórias de avanços medido e simulado pelo modelo SIRTOM para o quinto evento de irrigação num solo franco-arenoso

DISTÂNCIA DE AVANÇO (m)	SULCOS DE IRRIGAÇÃO																	
	01			02			03			04			05			06		
	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)
	medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7,3	1,0	1,5	-0,5	1,0	1,3	-0,3	2,0	1,1	0,9	1,0	1,5	-0,5	1,0	0,9	0,1	1,0	0,7	0,3
14,6	3,0	3,1	-0,1	3,0	2,7	0,3	4,0	2,1	1,9	3,0	2,9	0,1	2,0	1,7	0,3	2,0	1,4	0,6
21,9	5,0	4,8	0,2	4,0	4,5	-0,5	6,0	3,1	2,9	4,0	4,5	-0,5	3,0	2,6	0,4	3,0	2,1	0,9
29,2	8,0	6,7	1,3	6,0	6,8	-0,8	8,0	4,1	3,9	6,0	6,0	0,0	4,0	3,5	0,5	5,0	2,8	2,2
36,5	10,0	8,9	1,1	8,0	10,1	-2,1	10,0	5,1	4,9	8,0	8,0	0,0	5,0	4,6	0,4	7,0	3,5	3,5
43,8	12,0	11,6	0,4	11,0	14,2	-3,2	11,0	6,0	5,0	10,0	10,1	-0,1	7,0	5,6	1,4	8,0	4,3	3,7
51,1	14,0	14,7	-0,7	19,0	19,2	-0,2	15,0	7,0	8,0	12,0	12,6	-0,6	9,0	6,9	2,1	10,0	5,0	5,0
58,4	21,0	18,0	3,0	27,0	25,2	1,8	18,0	8,0	10,0	16,0	15,5	0,5	13,0	8,3	4,7	12,0	5,7	6,3
65,7	26,0	21,6	4,4	34,0	32,3	1,7	20,0	9,0	11,0	19,0	18,5	0,5	15,0	9,9	5,1	15,0	6,5	8,5
73,0	31,0	25,7	5,3	39,0	40,7	-1,7	23,0	10,1	12,9	23,0	21,9	1,1	17,0	11,7	5,3	18,0	7,3	10,7

TABELA B6. Trajetórias de avanços medido e simulado pelo modelo SIRTOM para o sexto evento de irrigação num solo franco-arenoso

DISTÂNCIA DE AVANÇO (m)	SULCOS DE IRRIGAÇÃO																	
	01			02			03			04			05			06		
	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)
	medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7,3	1,0	1,9	-0,9	1,0	1,1	-0,1	2,0	1,5	0,5	1,0	1,2	-0,2	1,0	1,3	-0,3	1,0	1,4	-0,4
14,6	3,0	4,0	-1,0	2,0	2,3	-0,3	4,0	3,0	1,0	2,0	2,4	-0,4	2,0	2,5	-0,5	2,0	2,8	-0,8
21,9	6,0	6,6	-0,6	3,0	3,6	-0,6	6,0	4,6	1,4	3,0	3,8	-0,8	4,0	3,9	0,1	3,0	4,2	-1,2
29,2	10,0	10,3	-0,3	5,0	5,3	-0,3	8,0	6,3	1,7	5,0	5,2	-0,2	5,0	5,3	-0,3	5,0	5,7	-0,7
36,5	12,0	14,8	-2,8	8,0	7,5	0,5	10,0	8,3	1,7	7,0	6,9	0,1	7,0	6,9	0,1	7,0	7,5	-0,5
43,8	15,0	20,2	-5,2	10,0	10,4	-0,4	12,0	10,6	1,4	9,0	8,9	0,1	9,0	8,6	0,4	9,0	9,4	-0,4
51,1	19,0	26,5	-7,5	17,0	13,9	3,1	16,0	13,3	2,7	12,0	11,3	0,7	11,0	10,7	0,3	11,0	11,7	-0,7
58,4	27,0	33,7	-6,7	26,0	17,8	8,2	21,0	16,3	4,7	15,0	14,2	0,8	15,0	13,1	1,9	13,0	14,2	-1,2
65,7	36,0	41,9	-5,9	33,0	22,6	10,4	26,0	19,4	6,6	18,0	17,4	0,6	17,0	15,6	1,4	17,0	17,0	0,0
73,0	45,0	51,3	-6,3	40,0	28,1	11,9	30,0	22,9	7,1	23,0	20,8	2,2	21,0	18,3	2,0	20,0	19,9	0,1

TABELA B7. Trajetórias de avanços medido e simulado pelo modelo SIRTOM para o sétimo evento de irrigação num solo franco-arenoso

DISTÂNCIA DE AVANÇO (m)	SULCOS DE IRRIGAÇÃO																	
	01			02			03			04			05			06		
	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)
	medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7,3	1,0	1,7	-0,7	1,0	1,6	-0,6	2,0	1,4	0,6	1,0	1,1	-0,1	2,0	1,4	0,6	1,0	0,7	0,3
14,6	2,0	3,6	-1,6	2,0	3,2	-1,2	3,0	2,9	0,1	2,0	2,2	-0,2	3,0	2,8	0,2	2,0	1,4	0,6
21,9	5,0	5,7	-0,7	4,0	5,6	-1,6	5,0	4,3	0,7	3,0	3,3	-0,3	4,0	4,3	-0,3	3,0	2,1	0,9
29,2	8,0	8,4	-0,4	7,0	9,1	-2,1	7,0	5,8	1,2	5,0	4,5	0,5	5,0	5,8	-0,8	5,0	2,7	2,3
36,5	11,0	11,8	-0,8	10,0	13,6	-3,6	9,0	7,5	1,5	7,0	5,7	1,3	7,0	7,7	-0,7	7,0	3,4	3,6
43,8	13,0	15,8	-2,8	14,0	19,0	-5,0	11,0	9,3	1,7	9,0	7,0	2,0	9,0	9,8	-0,8	9,0	4,2	4,8
51,1	17,0	20,4	-3,4	24,0	25,5	-1,5	15,0	11,4	3,6	11,0	8,3	2,7	12,0	12,2	-0,2	10,0	4,9	5,1
58,4	24,0	25,5	-1,5	36,0	33,0	3,0	18,0	13,8	4,2	13,0	9,8	3,2	15,0	15,0	0,0	13,0	5,6	7,4
65,7	32,0	31,3	0,7	44,0	41,8	2,2	22,0	16,3	5,7	16,0	11,5	4,5	18,0	18,0	0,0	16,0	6,3	9,7
73,0	38,0	37,8	0,2	51,0	51,8	-0,8	25,0	19,0	6,0	19,0	13,4	5,6	21,0	21,2	-0,2	18,0	7,1	10,9

TABELA B8. Trajetórias de avanços medido e simulado pelo modelo SIRTOM para o oitavo evento de irrigação num solo franco-arenoso

DISTÂNCIA DE AVANÇO (m)	SULCOS DE IRRIGAÇÃO																	
	01			02			03			04			05			06		
	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)
	medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7,3	2,0	1,6	0,4	1,0	1,7	-0,7	2,0	2,1	-0,1	2,0	1,6	0,4	1,0	1,1	-0,1	1,0	1,0	0,0
14,6	3,0	3,3	-0,3	4,0	3,4	0,6	4,0	4,1	-0,1	3,0	3,2	-0,2	2,0	2,2	-0,2	2,0	2,0	0,0
21,9	7,0	5,2	1,8	6,0	5,5	0,5	6,0	6,1	-0,1	4,0	4,9	-0,9	3,0	3,3	-0,3	3,0	3,1	-0,1
29,2	10,0	7,4	2,6	9,0	8,3	0,7	8,0	8,5	-0,5	6,0	6,6	-0,6	5,0	4,6	0,4	5,0	3,9	1,1
36,5	13,0	10,3	2,7	13,0	11,9	1,1	10,0	11,2	-1,2	8,0	8,6	-0,6	6,0	5,9	0,1	7,0	4,8	2,2
43,8	16,0	13,7	2,3	17,0	16,1	0,9	12,0	14,2	-2,2	10,0	11,0	-1,0	8,0	7,5	0,5	8,0	5,7	2,3
51,1	20,0	17,5	2,5	21,0	20,9	0,1	15,0	17,5	-2,5	12,0	13,6	-1,6	10,0	9,2	0,8	9,0	6,5	2,5
58,4	30,0	21,7	8,3	32,0	26,4	5,6	19,0	20,9	-1,9	15,0	16,5	-1,5	13,0	11,3	1,7	11,0	7,4	3,6
65,7	37,0	26,5	10,5	41,0	32,7	8,3	23,0	24,7	-1,7	17,0	19,7	-2,7	16,0	13,5	2,5	13,0	8,3	4,7
73,0	45,0	31,8	13,2	51,0	39,7	11,3	26,0	28,6	-2,6	22,0	23,1	-1,1	19,0	15,9	3,1	15,0	9,1	5,9

TABELA B9. Trajetórias de avanços medido e simulado pelo modelo SIRTOM para o nono evento de irrigação num solo franco-arenoso

DISTÂNCIA DE AVANÇO (m)	SULCOS DE IRRIGAÇÃO																	
	01			02			03			04			05			06		
	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)
	medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7,3	1,0	1,6	-0,6	1,0	1,7	-0,7	2,0	1,6	0,4	1,0	1,2	-0,2	2,0	1,3	0,7	2,0	1,6	0,4
14,6	3,0	3,4	-0,4	3,0	3,6	-0,6	4,0	3,1	0,9	3,0	2,3	0,7	3,0	2,5	0,5	3,0	3,1	-0,1
21,9	6,0	5,6	0,4	4,0	6,1	-2,1	5,0	4,7	0,3	4,0	3,6	0,4	4,0	3,8	0,2	5,0	4,3	0,7
29,2	9,0	8,5	0,5	6,0	10,0	-4,0	7,0	6,3	0,7	6,0	4,9	1,1	5,0	5,1	-0,1	6,0	5,4	0,6
36,5	12,0	12,3	-0,3	10,0	14,9	-4,9	10,0	8,1	1,9	8,0	6,2	1,8	7,0	6,6	0,4	8,0	6,6	1,4
43,8	15,0	16,7	-1,7	14,0	20,8	-6,8	12,0	10,2	1,8	11,0	7,9	3,1	9,0	8,2	0,8	10,0	7,7	2,3
51,1	19,0	21,9	-2,9	23,0	27,8	-4,8	16,0	12,5	3,5	13,0	9,6	3,4	12,0	10,0	2,0	12,0	8,8	3,2
58,4	29,0	27,8	1,2	33,0	36,0	-3,0	20,0	15,1	4,9	16,0	11,7	4,3	15,0	12,0	3,0	13,0	9,9	3,1
65,7	38,0	34,6	3,4	40,0	45,6	-5,6	23,0	17,8	5,2	19,0	14,1	4,9	18,0	14,3	3,7	14,0	11,0	3,0
73,0	49,0	42,1	6,9	47,0	56,5	-9,5	27,0	20,7	6,3	24,0	16,7	7,3	20,0	16,7	3,3	16,0	12,1	3,9

TABELA B10. Trajetórias de avanços medido e simulado pelo modelo SIRTOM para o décimo evento de irrigação num solo franco-arenoso

DISTÂNCIA DE AVANÇO (m)	SULCOS DE IRRIGAÇÃO																	
	01			02			03			04			05			06		
	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)
	medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7,3	2,0	1,8	0,2	1,0	1,9	-0,9	3,0	2,3	0,7	1,0	1,8	-0,8	1,0	1,6	-0,6	1,0	1,4	-0,4
14,6	4,0	3,7	0,3	3,0	3,8	-0,8	5,0	4,5	0,5	3,0	3,6	-0,6	3,0	3,2	-0,2	2,0	2,7	-0,7
21,9	7,0	5,9	1,1	8,0	5,8	2,2	7,0	7,0	0,0	5,0	5,3	-0,3	4,0	4,9	-0,9	4,0	4,1	-0,1
29,2	10,0	8,8	1,2	11,0	8,3	2,7	10,0	9,9	0,1	7,0	7,2	-0,2	6,0	6,7	-0,7	6,0	5,4	0,6
36,5	14,0	12,6	1,4	15,0	11,4	3,6	13,0	13,4	-0,4	10,0	9,3	0,7	8,0	8,9	-0,9	8,0	6,9	1,1
43,8	19,0	16,9	2,1	24,0	15,0	9,0	16,0	17,2	-1,2	12,0	11,8	0,2	11,0	11,5	-0,5	10,0	8,4	1,6
51,1	23,0	21,9	1,1	29,0	18,9	10,1	22,0	21,4	0,6	15,0	14,6	0,4	14,0	14,5	-0,5	13,0	10,2	2,8
58,4	33,0	27,5	5,5	34,0	23,4	10,6	27,0	26,0	1,0	18,0	17,6	0,4	17,0	17,6	-0,6	16,0	12,1	3,9
65,7	41,0	33,8	7,2	40,0	28,3	11,7	32,0	30,9	1,1	21,0	20,8	0,2	21,0	21,0	0,0	18,0	14,3	3,7
73,0	50,0	40,9	9,1	46,0	33,7	12,3	36,0	36,2	-0,2	26,0	24,3	1,7	24,0	24,7	-0,7	21,0	16,5	4,5

TABELA B11. Trajetórias de avanços medido e simulado pelo modelo SIRTOM para o décimo primeiro evento de irrigação num solo franco-arenoso

DISTÂNCIA DE AVANÇO (m)	SULCOS DE IRRIGAÇÃO																	
	01			02			03			04			05			06		
	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)
	Medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7,3	1,0	1,7	-0,7	2,0	1,2	0,8	1,0	2,3	-1,3	1,0	1,5	-0,5	1,0	1,3	-0,3	1,0	1,3	-0,3
14,6	3,0	3,6	-0,6	3,0	2,4	0,6	4,0	4,5	-0,5	3,0	3,1	-0,1	3,0	2,7	0,3	2,0	2,5	-0,5
21,9	6,0	5,8	0,2	6,0	3,9	2,1	6,0	6,8	-0,8	4,0	4,8	-0,8	4,0	4,4	-0,4	3,0	3,8	-0,8
29,2	8,0	8,9	-0,9	8,0	5,5	2,5	8,0	9,7	-1,7	6,0	6,6	-0,6	6,0	6,3	-0,3	4,0	5,1	-1,1
36,5	12,0	12,9	-0,9	11,0	7,5	3,5	11,0	13,1	-2,1	8,0	8,8	-0,8	8,0	8,9	-0,9	6,0	6,4	-0,4
43,8	16,0	17,4	-1,4	15,0	10,1	4,9	14,0	16,8	-2,8	10,0	11,4	-1,4	17,0	12,1	4,9	7,0	7,9	-0,9
51,1	21,0	22,7	-1,7	20,0	13,2	6,8	18,0	20,8	-2,8	12,0	14,4	-2,4	21,0	15,8	5,2	9,0	9,5	-0,5
58,4	30,0	28,7	1,3	25,0	16,8	8,2	22,0	25,2	-3,2	15,0	17,7	-2,7	25,0	20,0	5,0	12,0	11,3	0,7
65,7	38,0	35,6	2,4	35,0	20,8	14,2	27,0	29,9	-2,9	18,0	21,2	-3,2	29,0	24,7	4,3	14,0	13,3	0,7
73,0	46,0	43,3	2,7	46,0	25,4	20,6	30,0	35,0	-5,0	24,0	25,2	-1,2	33,0	29,9	3,1	16,0	15,5	0,5

TABELA B12. Trajetórias de avanços medido e simulado pelo modelo SIRTOM para o décimo segundo evento de irrigação num solo franco-arenoso

DISTÂNCIA DE AVANÇO (m)	SULCOS DE IRRIGAÇÃO																	
	01			02			03			04			05			06		
	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)	TEMPO DE AVANÇO (min)		dt (min)
	medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado		medido	simulado	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7,3	2,0	1,9	0,1	1,0	1,8	-0,8	2,0	2,2	-0,2	2,0	1,9	0,1	1,0	1,4	-0,4	1,0	0,7	0,3
14,6	4,0	3,8	0,2	3,0	3,7	-0,7	4,0	4,3	-0,3	4,0	3,8	0,2	3,0	2,9	0,1	3,0	1,4	1,6
21,9	7,0	6,0	1,0	5,0	6,0	-1,0	6,0	6,4	-0,4	6,0	5,9	0,1	4,0	4,6	-0,6	4,0	2,1	1,9
29,2	10,0	8,9	1,1	7,0	9,4	-2,4	9,0	8,9	0,1	8,0	8,4	-0,4	6,0	6,5	-0,5	6,0	2,9	3,1
36,5	14,0	12,6	1,4	10,0	13,7	-3,7	11,0	11,9	-0,9	10,0	11,4	-1,4	9,0	8,8	0,2	7,0	3,6	3,4
43,8	19,0	16,8	2,2	13,0	18,6	-5,6	13,0	15,2	-2,2	13,0	14,9	-1,9	15,0	11,7	3,3	8,0	4,3	3,7
51,1	23,0	21,5	1,5	21,0	24,5	-3,5	17,0	18,7	-1,7	16,0	18,8	-2,8	18,0	15,0	3,0	10,0	5,1	4,9
58,4	32,0	26,9	5,1	29,0	31,2	-2,2	21,0	22,5	-1,5	19,0	23,2	-4,2	23,0	18,6	4,4	12,0	5,8	6,2
65,7	40,0	32,9	7,1	36,0	38,9	-2,9	26,0	26,5	-0,5	23,0	28,0	-5,0	28,0	22,6	5,4	15,0	6,6	8,4
73,0	47,0	39,6	7,4	39,0	47,6	-8,6	29,0	30,9	-1,9	29,0	33,3	-4,3	31,0	27,0	4,0	18,0	7,4	10,6

TABELA C1. Características de infiltração d'água no solo determinado pelo modelo SIRTOM, para o primeiro evento de irrigação num solo franco-arenoso

SULCOS DE IRRIGAÇÃO	CARACTERÍSTICAS DE INFILTRAÇÃO			VALOR RESIDUAL
	k (m ³ /min/m)	a	fo (m ³ /min/m)	
01	0,01754	0,283	0,000190	20,1
02	0,01008	0,323	0,000190	14,1
03	0,02497	0,086	0,000190	11,2
04	0,00991	0,285	0,000190	13,5
05	0,01044	0,293	0,000190	23,7
06	0,01050	0,273	0,000190	10,3

TABELA C2. Características de infiltração d'água no solo determinado pelo modelo SIRTOM, para o segundo evento de irrigação num solo franco-arenoso

SULCOS DE IRRIGAÇÃO	CARACTERÍSTICAS DE INFILTRAÇÃO			VALOR RESIDUAL
	k (m ³ /min/m)	a	fo (m ³ /min/m)	
01	0,01017	0,306	0,000190	4,7
02	0,01037	0,269	0,000190	6,3
03	0,01820	0,142	0,000190	2,1
04	0,00595	0,241	0,000190	2,3
05	0,01024	0,291	0,000190	4,9
06	0,00608	0,127	0,000190	19,7

TABELA C3. Características de infiltração d'água no solo determinado pelo modelo SIRTOM, para o terceiro evento de irrigação num solo franco-arenoso

SULCOS DE IRRIGAÇÃO	CARACTERÍSTICAS DE INFILTRAÇÃO			VALOR RESIDUAL
	k (m ³ /min/m)	a	fo (m ³ /min/m)	
01	0,01037	0,280	0,000190	6,3
02	0,00998	0,326	0,000190	17,1
03	0,00903	0,242	0,000190	2,8
04	0,00583	0,271	0,000190	2,9
05	0,00558	0,354	0,000190	7,7
06	0,00449	0,206	0,000190	28,3

TABELA C4. Características de infiltração d'água no solo determinado pelo modelo SIRTOM, para o quarto evento de irrigação num solo franco-arenoso

SULCOS DE IRRIGAÇÃO	CARACTERÍSTICAS DE INFILTRAÇÃO			VALOR RESIDUAL
	k (m ³ /min/m)	a	fo (m ³ /min/m)	
01	0,01022	0,299	0,000190	7,0
02	0,00968	0,352	0,000190	18,6
03	0,01686	0,180	0,000190	3,7
04	0,00573	0,297	0,000190	3,6
05	0,01101	0,235	0,000190	9,2
06	0,00494	0,171	0,000190	22,8

TABELA C5. Características de infiltração d'água no solo determinado pelo modelo SIRTOM, para o quinto evento de irrigação num solo franco-arenoso

SULCOS DE IRRIGAÇÃO	CARACTERÍSTICAS DE INFILTRAÇÃO			VALOR RESIDUAL
	k (m ³ /min/m)	a	fo (m ³ /min/m)	
01	0,01042	0,283	0,000190	10,3
02	0,00539	0,417	0,000190	7,6
03	0,00700	0,124	0,000190	36,8
04	0,00833	0,262	0,000190	2,4
05	0,00561	0,352	0,000190	12,2
06	0,00444	0,206	0,000190	24,9

TABELA C6. Características de infiltração d'água no solo determinado pelo modelo SIRTOM, para o sexto evento de irrigação num solo franco-arenoso

SULCOS DE IRRIGAÇÃO	CARACTERÍSTICAS DE INFILTRAÇÃO			VALOR RESIDUAL
	k (m ³ /min/m)	a	fo (m ³ /min/m)	
01	0,00977	0,340	0,000190	22,3
02	0,00542	0,419	0,000190	21,5
03	0,01061	0,269	0,000190	17,3
04	0,00563	0,324	0,000190	3,7
05	0,01040	0,282	0,000190	4,8
06	0,01047	0,262	0,000190	3,7

TABELA C7. Características de infiltração d'água no solo determinado pelo modelo SIRTOM, para o sétimo evento de irrigação num solo franco-arenoso

SULCOS DE IRRIGAÇÃO	CARACTERÍSTICAS DE INFILTRAÇÃO			VALOR RESIDUAL
	k (m ³ /min/m)	a	fo (m ³ /min/m)	
01	0,01009	0,318	0,000190	7,7
02	0,00973	0,410	0,000190	13,0
03	0,01099	0,238	0,000190	15,2
04	0,00624	0,239	0,000190	12,3
05	0,01030	0,283	0,000190	2,3
06	0,00456	0,205	0,000190	27,4

TABELA C8. Características de infiltração d'água no solo determinado pelo modelo SIRTOM, para o oitavo evento de irrigação num solo franco-arenoso

SULCOS DE IRRIGAÇÃO	CARACTERÍSTICAS DE INFILTRAÇÃO			VALOR RESIDUAL
	k (m ³ /min/m)	a	fo (m ³ /min/m)	
01	0,01027	0,313	0,000190	26,8
02	0,01001	0,347	0,000190	17,9
03	0,01875	0,201	0,000190	7,8
04	0,01062	0,240	0,000190	6,3
05	0,01024	0,310	0,000190	5,8
06	0,00838	0,071	0,000190	13,4

TABELA C9. Características de infiltração d'água no solo determinado pelo modelo SIRTOM, para o nono evento de irrigação num solo franco-arenoso

SULCOS DE IRRIGAÇÃO	CARACTERÍSTICAS DE INFILTRAÇÃO			VALOR RESIDUAL
	k (m ³ /min/m)	a	fo (m ³ /min/m)	
01	0,00993	0,359	0,000190	11,0
02	0,00950	0,397	0,000190	25,2
03	0,01122	0,222	0,000190	15,6
04	0,00593	0,281	0,000190	16,3
05	0,01064	0,260	0,000190	8,8
06	0,01319	0,000	0,000190	11,3

TABELA C10. Características de infiltração d'água no solo determinado pelo modelo SIRTOM, para o décimo evento de irrigação num solo franco-arenoso

SULCOS DE IRRIGAÇÃO	CARACTERÍSTICAS DE INFILTRAÇÃO			VALOR RESIDUAL
	k (m ³ /min/m)	a	fo (m ³ /min/m)	
01	0,01014	0,321	0,000190	17,4
02	0,01065	0,269	0,000190	38,3
03	0,01844	0,227	0,000190	3,5
04	0,01121	0,203	0,000190	3,3
05	0,01542	0,275	0,000190	3,2
06	0,01134	0,213	0,000190	11,6

TABELA C11. Características de infiltração d'água no solo determinado pelo modelo SIRTOM, para o décimo primeiro evento de irrigação num solo franco-arenoso

SULCOS DE IRRIGAÇÃO	CARACTERÍSTICAS DE INFILTRAÇÃO			VALOR RESIDUAL
	k (m ³ /min/m)	a	fo (m ³ /min/m)	
01	0,00997	0,344	0,000190	7,6
02	0,00557	0,369	0,000190	38,6
03	0,01819	0,224	0,000190	13,8
04	0,01030	0,279	0,000190	8,3
05	0,00987	0,376	0,000190	14,8
06	0,01077	0,233	0,000190	3,8

TABELA C12. Características de infiltração d'água no solo determinado pelo modelo SIRTOM, para o décimo segundo evento de irrigação num solo franco-arenoso

SULCOS DE IRRIGAÇÃO	CARACTERÍSTICAS DE INFILTRAÇÃO			VALOR RESIDUAL
	k (m ³ /min/m)	a	fo (m ³ /min/m)	
01	0,01026	0,302	0,000190	16,3
02	0,00986	0,356	0,000190	18,8
03	0,01872	0,207	0,000190	5,7
04	0,01041	0,258	0,000190	12,2
05	0,01012	0,322	0,000190	13,2
06	0,00438	0,206	0,000190	26,4