

## DESUNIFORMIDADE ESPAÇO-TEMPORAL NO DESEMPENHO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR SULCO<sup>1</sup>

Joaquim José de Carvalho<sup>2</sup>, Carlos Alberto Vieira de Azevedo<sup>3</sup>, Aurelir Nobre Barreto<sup>4</sup>,  
Jacqueline Henrique<sup>2</sup> e Hamilton Medeiros de Azevedo<sup>5</sup>

### RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o grau de desuniformidade no desempenho de um sistema de irrigação por sulco do Perímetro Irrigado de São Gonçalo, Sousa, PB, decorrente das variações espacial e temporal em parâmetros de campo e operacionais. Para se quantificar essas variações, foram realizadas avaliações de campo em seis sulcos, escolhidos de forma a abranger ao máximo as variações no sentido transversal da área irrigada. Observou-se 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; enquanto espacialmente, as variações temporais máximas para esses parâmetros foram de 26,3, 78,4 e 233,3%.

**Palavras-chave:** Irrigação por sulcos, manejo, desempenho

### SPATIAL AND TEMPORAL NON-UNIFORMITY IN THE FURROW IRRIGATION SYSTEM PERFORMANCE

### ABSTRACT

The purpose of this research was to evaluate the degree of non-uniformity of furrow irrigation system performance generated by spatial and temporal variations in field and operational parameters. At each irrigation event along the crop season, field evaluations were performed in six furrows chosen in such way to comprise most of the spatial variations. Maximum spatial variations in the application efficiency, tailwater ration and deep percolation ration were equal to 33.0, 162.0 and 140.5%. Spatially, for the same parameters the maximum temporal variations were 26.3, 78.4 and 233.3%.

**Key words:** furrow irrigation, management, performance

### INTRODUÇÃO

Apesar da maioria das regiões do Brasil possuir médias anuais de precipitação acima de 1000 mm, com exceção de algumas áreas semi-áridas em que, além dessas médias serem

mais baixas existe o problema de desuniformidade de distribuição das precipitações ao longo do ano, 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 comercial.

<sup>1</sup> Parte da dissertação de Mestrado do primeiro autor. Convênio UFPB – Embrapa Algodão – Escola Agrotécnica Federal de Sousa, PB

<sup>2</sup> M.Sc. em Irrigação e Drenagem, Rua Ana Azevedo 509, Palmeira, CEP 58102-320, Campina Grande, PB, fone (083) 321-7654

<sup>3</sup> PhD em Irrigação e Drenagem, DEAg-UFPB, Av. Aprígio Veloso 882, Bodocongó, CEP 58109-970, Campina Grande, PB, Telefax (083) 310-1185, E-mail:cazevedo@deag.ufpb.br

<sup>4</sup> M.Sc. em Irrigação e Drenagem, Embrapa-Algodão, Rua Oswaldo Cruz 1143, Centenário, CEP 58107-720, Campina Grande, PB, fone (083) 341-3608, Fax (083) 322-7751

<sup>5</sup> M.Sc. em Irrigação e Drenagem, DEAg-UFPB

Verificada a necessidade de se irrigar, deve-se escolher o método de irrigação baseando-se na viabilidade técnica e econômica do projeto e nos seus benefícios sociais. Não importando quais sejam as condições de campo em questão, seria uma levianidade afirmar que, sob o aspecto técnico, determinado método de irrigação é incondicionalmente melhor que outro, porque o que existe são certas condições de campo que atribuem, a um método, maior adequabilidade; 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; já numa condição de solo com textura tendendo a grossa, os sistemas pressurizados, principalmente microaspersão, tornam-se mais adequados; os benefícios sociais, entretanto, poderão ser alcançados por qualquer método de irrigação, desde que sua escolha, dimensionamento e manejo, sejam adequados. Para que o *input* irrigação atinja plenamente seu propósito, necessita-se, além da escolha adequada de seu método, da aplicação de técnicas para sua programação, que indiquem com exatidão o momento e a quantidade de água a ser aplicada, como também um adequado manejo das redes de condução d'água e de seu processo de aplicação na área irrigada.

Soares et al. (1985) afirmam 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 custo menor, incluindo os custos fixos e variáveis, e a outros benefícios. 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.

De acordo com Daker (1988) os sistemas superficiais permitem uma eficiência de aplicação d'água relativamente alta, podendo atingir até 80% em condições favoráveis, mas Bos & Nugteren (1974) e Clyma et al. (1975) afirmam que os projetos de irrigação por superfície trabalham, na sua maioria e em todo o mundo, com eficiências em torno de 40 a 50%. Esses sistemas têm até recebido a imerecida reputação de sistemas de baixos níveis de desempenho. Segundo Merriam (1976) apud por Scaloppi (1986) o uso inadequado e o desconhecimento das potencialidades dos sistemas por superfície têm resultado em reduzida eficiência. Particularmente na irrigação por sulco, a vazão aplicada é um dos fatores que mais afetam a eficiência de aplicação e a uniformidade de distribuição d'água; por exemplo, a aplicação de uma vazão constante, estratégia de manejo mais utilizada no mundo, oferece grandes riscos a esses dois aspectos do desempenho do sistema porque, quando se escolhe 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 contrabalance as perdas por percolação e escoamento superficial.

De acordo com Garrido (1993) os fatores que contribuem para a baixa eficiência de aplicação por sulco são: a diferença no

tempo de oportunidade para a infiltração d'água ao longo do sulco, a variabilidade espacial e temporal nas características de infiltração e o manejo inadequado. Lima Filho (1996) acrescenta, ainda, que o desempenho da irrigação por sulco é influenciado por outras variáveis, como a vazão de entrada, o tempo de corte da água, o comprimento dos sulcos, a sua declividade e o espaçamento entre eles. O processo de dimensionamento e manejo dos sistemas de irrigação superficiais torna-se complicado devido às dificuldades que existem em se medir (ou estimar) as variações espacial e temporal nos parâmetros de campo, especialmente as variações nas características de infiltração d'água no solo; mas, 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.

As variações espacial e temporal nos parâmetros de campo (principalmente infiltração, seção transversal de fluxo e rugosidade) e na vazão aplicada, resultam em variações no tempo de aplicação d'água, parâmetro operacional mais importante porque é o de maior facilidade para ser alterado (manejado); a questão fundamental é que essas variações poderão, em cada evento de irrigação, gerar desuniformidade no desempenho dos sistemas de irrigação por sulco ao longo da área, principalmente quando se adota 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, esses parâmetros, de forma a se compensar essas variações; poderá, 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. Santana (1996) e Santana et al. (1997a) verificaram, num sistema de irrigação por sulco 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, ainda, 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 sulco. Para esta 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.

Considerando-se as variações que ocorrem, tanto espacial como temporalmente, nos parâmetros de campo e operacionais, esta pesquisa teve o objetivo de avaliar o sistema de irrigação por sulco no Perímetro Irrigado de São Gonçalo, Sousa, PB, visando-se identificar o grau de desuniformidade em seu desempenho ao longo da área irrigada, em cada evento de irrigação.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido num sistema de irrigação por sulco da Estação Experimental da Embrapa Algodão, localizada no Perímetro Irrigado de São Gonçalo, Sousa, PB. A área experimental cultivada com algodão apresenta solo pertencente a classe textural franco-arenoso, mede 0,62 ha, foi sistematizada

com gradiente de declividade de 0,004 no sentido longitudinal e 0,001 no sentido transversal. O sistema de irrigação possui 53 sulcos com 73 m de comprimento, espaçados de 1,6 m, e foi operado sob condições de fluxo reduzido, em que se utilizaram dois sifões durante a fase de avanço e um na fase de armazenamento.

Para se observar as variações espacial e temporal em parâmetros de campo e operacionais, foram realizadas avaliações para cada evento de irrigação ao longo da estação de cultivo (total de 12) coletando-se dados em seis sulcos equidistantes, de forma a abranger ao máximo essas variações, ao longo de toda a área irrigada. Foram feitas as seguintes mensurações: vazões de entrada e saída, tempo de avanço, velocidade de infiltração básica e perfilometria da seção transversal de fluxo. As vazões de entrada e saída foram medidas através de calhas Parshall, modelos H26-1 e H26-2, e calhas WSC, modelo FEX 1-34. Inicialmente, essas medições eram feitas a cada minuto, até se verificar que a altura de fluxo tornou-se praticamente constante e, a partir daí, elas passaram a ser feitas a cada 10 min; entretanto, quando ocorria qualquer alteração na altura de fluxo voltava-se, então, a fazê-las a cada minuto. Para se medir a fase 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 estaca. A velocidade de infiltração básica, **fo**, foi determinada quando a vazão de saída, no final do sulco, atingiu valor constante; a **fo** foi, então, igual à diferença entre a vazão aplicada no início do sulco e a que saía em seu final (valores esses constantes) dividida pelo comprimento do sulco. Para se obter um valor médio da seção transversal de fluxo em cada sulco, foram realizadas medições em três estações, equidistantes ao longo do sulco, em 18,25 m, utilizando-se um perfilômetro confeccionado pelo Laboratório de Engenharia de Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola da UFPA; a tomada desses dados foi feita apenas quando a fase de recessão se completou; no entanto, durante a fase de armazenamento, quando o perfil superficial de fluxo tornou-se praticamente estável, foram colocadas pequenas estacas nessas estações demarcando-se, assim, a seção transversal de fluxo a ser medida.

A determinação, em tempo real, do tempo de aplicação d'água, foi feita da seguinte forma: imediatamente ao término da fase de avanço, os parâmetros  $k$  e  $a$  da equação de infiltração de Kostiakov-Lewis, foram determinados a partir do ajuste do avanço simulado ao medido, processado pelo modelo matemático computacional SIRTOM. Nesta simulação foi atribuído, à rugosidade da superfície do solo, um valor igual a 0,013, utilizado por Azevedo (1992) e Azevedo et al. (1997a,b) por acharem ser este valor o que mais contribuía para minimizar as discrepâncias entre o tempo de avanço simulado e o medido. Como não se tinha certeza de que seria possível se obter a velocidade de infiltração básica em tempo hábil, isto é, se a vazão de saída atingiria um valor constante um pouco antes da duração da fase de armazenamento, adotou-se, tanto na simulação do SIRTOM como na determinação do tempo de oportunidade de infiltração requerido, um valor para  $fo$  igual a  $0,000190 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-1}$ , determinado por Santana (1996). De posse da equação de infiltração d'água, o tempo de oportunidade de infiltração, para a lâmina d'água requerida pela cultura foi, então,

determinado iterativamente, através de uma planilha de cálculo feita no Microsoft Excel 7.0. Como em todos os eventos de irrigação, desejou-se estabelecer a condição de irrigação adequada ao longo de toda a área, isto é, a lâmina d'água aplicada no final da área igual à requerida pela cultura, o tempo de aplicação d'água foi, assim, dado pela soma do tempo de avanço no final da área com o tempo de oportunidade de infiltração requerido.

Tendo-se concluído 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-se 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, a uniformidade de distribuição d'água (na zona do sistema radicular) e a eficiência de armazenamento já foram, desta 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.

Os dados obtidos experimentalmente foram analisados utilizando-se métodos de estatística descritiva, calculando-se a média aritmética, mediana, mínimo, máximo, amplitude total, intervalo de 95% de confiança (com desvio-padrão populacional desconhecido) e coeficiente de variação. E para avaliar a hipótese de normalidade dos dados, utilizou-se o método de Kolmogorov-Smirnov a nível de 5% de probabilidade, citado por (Costa Neto, 1997).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 1, 2 e 3 e a Figura 1, 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,  $Ea$  (Tabela 1) quanto a taxa de escoamento,  $TE$  (Tabela 2) apresentaram distribuição normal, enquanto a taxa de percolação,  $TP$  (Tabela 3) se ajustou a uma distribuição lognormal sendo, então, mais sensato utilizar-se a mediana como medida de posição para representar esse parâmetro de desempenho, porque suas médias aritméticas, ao longo do tempo e do espaço, foram bastante afetadas por valores extremos.

Através do 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 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 ( $12\% \leq CV \leq 60\%$ ) enquanto as  $TE$  e  $TP$  de média a alta ( $CV > 60\%$ ). Ao longo do espaço, a variação temporal na  $Ea$  foi de baixa a média, na  $TE$  de média a alta e na  $TP$ , alta. Ao longo do tempo, as maiores desuniformidades nas  $Ea$  e  $TE$  ocorreram no segundo evento de irrigação, ao passo que na  $TP$  foram no primeiro evento, podendo-se comprovar isto contactando-se nesses eventos de irrigação maiores coeficientes de variação e

Tabela 1. Variação espacial e temporal da Eficiência de aplicação, Ea (%) do sistema de irrigação por sulco, num solo franco-arenoso

Eventos de Irrigação	Sulcos de irrigação						Média Espacial	Valor		Amp. <sup>a</sup> Total	I. C. (95%) <sup>b</sup>		CV <sup>e</sup> (%)
	01	02	03	04	05	06		Mín.	Máx.		L. I. <sup>c</sup>	L. S. <sup>d</sup>	
01	10,5	4,3	41,1	13,1	33,7	35,5	23,0	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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						
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

<sup>a</sup>Amplitude total, <sup>b</sup>Estimativa do intervalo a 95% de confiança, <sup>c</sup>Limite inferior, <sup>d</sup>Limite superior, <sup>e</sup>Coefficiente de variação. A quantificação dos parâmetros estatísticos na diagonal, corresponde à variação da eficiência de aplicação ao longo do tempo e do espaço

Tabela 2. Variação espacial e temporal da taxa de escoamento, TE (%) do sistema de irrigação por sulco, num solo franco-arenoso

Eventos de Irrigação	Sulcos de irrigação						Média Espacial	Valor		Amp. <sup>a</sup> Total	I. C. (95%) <sup>b</sup>		CV <sup>e</sup> (%)
	01	02	03	04	05	06		Mín.	Máx.		L. I. <sup>c</sup>	L. S. <sup>d</sup>	
01	6,9	0,4	2,6	0,8	0,3	0,2	1,9	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	47,7	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	16,6	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	11,7	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	8,3	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	7,6	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	7,1	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	1,4	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	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	1,7	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	1,5	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	4,1	0,5	8,9	8,4	1,1	7,1	70,6
Média Temporal	15,0	14,8	10,0	5,4	8,1	2,3	9,3						
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.	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							158,5

<sup>a</sup>Amplitude total, <sup>b</sup>Estimativa do intervalo a 95% de confiança, <sup>c</sup>Limite inferior, <sup>d</sup>Limite superior, <sup>e</sup>Coefficiente de variação. A quantificação dos parâmetros estatísticos na diagonal, corresponde à variação da eficiência de aplicação ao longo do tempo e do espaço

Tabela 3. Variação espacial e temporal da taxa de percolação, TP (%) do sistema de irrigação por sulco, num solo franco-arenoso

Eventos de Irrigação	Sulcos de irrigação						Média Espacial	Valor		Amp. <sup>a</sup> Total	I. C. (95%) <sup>b</sup>		CV <sup>c</sup> (%)
	01	02	03	04	05	06		Mín.	Máx.		L. I. <sup>c</sup>	L. S. <sup>d</sup>	
01	6,9	0,4	2,6	0,8	0,3	0,2	1,9	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	47,7	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	16,6	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	11,7	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	8,3	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	7,6	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	7,1	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	1,4	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	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	1,7	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	1,5	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	4,1	0,5	8,9	8,4	1,1	7,1	70,6
Média Temporal	15,0	14,8	10,0	5,4	8,1	2,3	9,3						
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							158,5

<sup>a</sup>Amplitude total, <sup>b</sup>Estimativa do intervalo a 95% de confiança, <sup>c</sup>Limite inferior, <sup>d</sup>Limite superior, <sup>e</sup>Coefficiente de variação. A quantificação dos parâmetros estatísticos na diagonal, corresponde à variação da eficiência de aplicação ao longo do tempo e do espaço

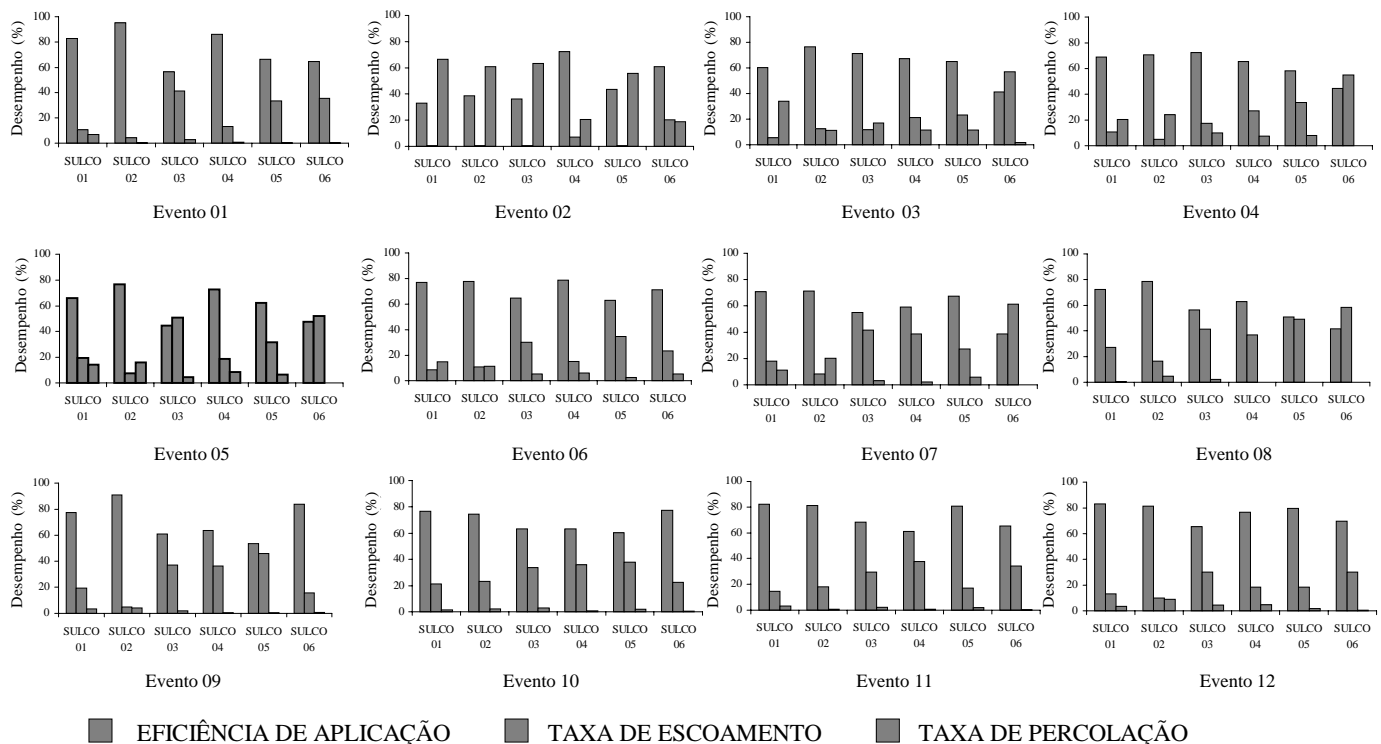


Figura 1. Variação espacial e temporal do desempenho do sistema de irrigação por sulco, num solo franco-arenoso

proporções entre a amplitude total e a média aritmética, motivo pelo qual, ao longo do espaço, as maiores desuniformidades nas Ea e TP ocorreram no sulco 05, e na TE sulco 02.

No primeiro evento de irrigação, observa-se que a eficiência de aplicação variou entre 56,3 a 95,3%, apresentando uma média de 75,1% ao longo da área. Mesmo com o solo 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%) em razão, provavelmente, da 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 nas vazões deveria ter sido maior que a adotada nesta pesquisa (em torno de 50%); nos demais sulcos, o somatório das perdas não ultrapassou os 30%; no segundo evento de irrigação a eficiência de aplicação variou espacialmente, entre 33,1 a 72,3% e a média espacial caiu substancialmente para 47,4% em decorrência, sem dúvida, 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 devidas, então, 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 pelo motivo já mencionado. Essas taxas poderiam ter sido minimizadas se a vazão de entrada, ao término da fase de avanço, tivesse sofrido uma redução maior (em relação à adotada 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. 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 pequenas variações nessa vazão. Observa-se, também, que tanto as perdas por percolação como suas variações, foram maiores ao longo do tempo, isto porque houveram 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 este 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.

Observa-se, na Tabela 1 que, ao longo do tempo e do espaço, os valores mínimo e máximo da eficiência de aplicação foram 33,1 e 95,3%; esta amplitude de variação resultou, ao longo do tempo, em médias espaciais de 60,3 a 75,8% e, ao longo do espaço, em médias temporais de 58,8 a 76,1%. Muito embora o sistema de irrigação tenha apresentado desempenho razoavelmente satisfatório na grande maioria dos eventos de irrigação nos seis sulcos estudados, algum estudioso nesta área poderá questionar por que especificamente em alguns sulcos, em determinados eventos (exemplos: sulcos 01, 02, 03, e 05 no evento 02, sulco 06 nos eventos 03, 04, 05 e 07) o desempenho do sistema de irrigação não foi compatível (valores da eficiência de aplicação inferiores a 50%) com a premissa da tecnologia empregada de determinação em tempo real do tempo de aplicação. Realmente para se alcançarem, em parte, níveis satisfatórios de desempenho do sistema, o procedimento correto é se determinar o tempo de aplicação durante cada evento de irrigação, porque só assim se poderá levar em consideração as variações nos parâmetros de campo, principalmente nas características de infiltração d'água do solo, que afetam as durações das fases de avanço e de armazenamento, componentes do tempo de aplicação; entretanto, para se ter níveis satisfatórios de desempenho do sistema não basta se trabalhar apenas com um tempo de aplicação real mas, também, torna-se imprescindível aplicar uma vazão durante a fase de avanço que minimize ao máximo possível as variações no tempo de oportunidade de infiltração ao longo da área minimizando, assim, as perdas por percolação, como também uma vazão, de preferência reduzida, durante a fase de armazenamento, que minimize as perdas por escoamento superficial. Esta pesquisa não teve o propósito de investigar, criteriosamente, vazões adequadas para essas duas fases; o que se adotou foi uma vazão para a fase de avanço de fácil operacionalidade (dois sifões) e dentro da capacidade do canal pacelar de distribuição d'água e das restrições de erodibilidade do solo e, para a fase de armazenamento, estabeleceu-se uma redução de vazão de 50%. As vazões aplicadas durante as fases de avanço parecem ter sido razoavelmente adequadas, porque das 72 avaliações de campo realizadas, apenas em 19 ocorreram taxas de percolação superiores a 10% (Tabela 3). O evento de irrigação 02, que apresentou taxas de percolação variando de 18,9 a 66,9% (nos seis sulcos estudados) é um caso atípico, porque se tratou de um evento que ocorreu apenas três dias depois do primeiro

evento e em que se teve a finalidade de aplicar uma pequena lâmina para favorecer a germinação; já as vazões aplicadas durante as fases de armazenamento poderiam ter sido mais adequadas porque, em 39 avaliações de campo, as taxas de escoamento foram superiores a 20% (Tabela 2). As médias espacial e temporal variaram, respectivamente, de 4,9 a 38,3% e de 9,1 a 38,9%. Um outro fator que também afeta o desempenho do sistema de irrigação por sulco é a magnitude da lâmina d'água a ser aplicada no final da área. Lâminas pequenas reduzem as perdas por escoamento mas aumentam em muito por percolação; o contrário acontece para lâminas grandes. Neste estudo, a lâmina aplicada num evento de irrigação foi a mesma em todos os sulcos, mas de um evento a outro ela variou para ficar de conformidade com a demanda evapotranspirativa da cultura do algodoeiro, diferenciada ao longo de sua estação de cultivo. O desempenho do sistema, no tocante à eficiência de aplicação depende, ainda, do que seja o conceito de tempo de aplicação adequado; por exemplo, os autores têm constatado um caso no Perímetro Irrigado de São Gonçalo, PB, onde os sulcos eram fechados no final e o irrigante estabelecia, como tempo de aplicação adequado, aquele que evitava o encharcamento nas proximidades do final da área, por tratar-se da cultura da bananeira, que não tolera tais condições. Este procedimento resultava, provavelmente, numa lâmina aplicada no final da área menor que a requerida pela cultura, mas minimizava tanto as perdas por percolação como por escoamento superficial. Optou-se, nesta pesquisa, por um conceito de tempo de aplicação adequado àquele que possibilitava a aplicação da lâmina requerida no final da área. Conclui-se, então, que a eficiência de aplicação não depende apenas de um tempo de aplicação determinado em tempo real.

Ante tamanha variabilidade espacial e temporal constatada no desempenho do sistema de irrigação por sulco estudado, a questão fundamental 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 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 a medida em que vão diminuindo, ao longo do tempo, as variações nos parâmetros de campo.

## CONCLUSÕES

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; e, especialmente, as variações temporais máximas geradas foram 26,3, 78,4 e 233,3%, na eficiência de aplicação, na taxa de escoamento e na taxa de percolação;

constatou-se, então, acentuada desuniformidade no desempenho do sistema de irrigação por sulco estudado, principalmente ao longo da área irrigada demonstrando, desta forma, a complexidade do manejo do sistema e a importância de se fazer um monitoramento sistemático, tanto ao longo do tempo

como do espaço, das variações nos parâmetros de campo e operacionais, visando-se estabelecer melhor controle do desempenho e seu diagnóstico o mais representativo possível das condições globais de campo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, C.A.V. de. **Real - time solution of the inverse furrow advance problem**. Logan: Utah State University. 1992, 263p. Tese Doutorado.
- 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 sulco em tempo real. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 1, p. 43-49, 1997b.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1995. 657p.
- BOS, M.G.; 1974. On irrigation efficiencies. Wageningen International Institute for Land Reclamation and Improvement, ILRI, vol.19
- COSTA NETO, P.L. de O. **Estatística**. 15 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1997. 264p.
- CLYMA, W.; ALI, A.; ASRAF, M.M. 1975. Irrigation practices and application efficiencies in Pakistan Fort Collins: Water Management Technical Report nº 39, Colorado State University
- DAKER, A. **Irrigação e Drenagem; a água na agricultura**. 7.ed. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos, 1988. v.3. 543p.
- 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. p. 2654-2665.
- 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**. p. 482.
- 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 da Paraíba, 1996. 96p. Dissertação Mestrado
- 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 sulco no perímetro irrigado de São Gonçalo, PB. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, 1997, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 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, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 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, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 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, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997d. p. 376-379.
- SOARES, M.J.; MAGALHÃES, A.A; ROSA, J.I.F. da. Eficiência de irrigação em sulcos parcialmente fechados no final. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.3, p. 361-369. 1985.
- SCALOPPI, E.J. Sistema de irrigação por superfície. **Informe Agropecário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 139, p. 12-26. 1986.
- WALKER, W.R.; SKOGERBOE, G.V. **Surface Irrigation: Theory and Practice**. New Jersey: Prentice-Hall. Inc., 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.