

Velocidade da frente de umidade em Neossolo Quartzarênico sob irrigação intermitente por gotejamento¹
Front of velocity moisture neosol quartzarênico under intermittent irrigation and drip of 2.0 and 4.0 h⁻¹

Tarcizio Nascimento², Carlos Alberto Vieira de Azevedo³, José Dantas Neto³, Vera Lucia Antunes de Lima³,
José Alberto Calado Wanderley³

Resumo O trabalho foi realizado em um lisímetro de drenagem com dimensões de 100 cm de aresta, utilizando-se um solo tipo Neossolo Quartzarênico, com 94% de areia, 1% de silte e 5% de argila. Os testes foram realizados utilizando um volume de reposição, fixo de 8,0 L de água. As irrigações foram realizadas, utilizando-se um esquema fatorial de duas vazões (2,0; 4,0 L h⁻¹) por quatro intermitências (uma, duas, três e sem intermitências). A velocidade da frente de umidade no solo irrigado com o emissor de 4,0 L h⁻¹ foi, respectivamente, de 47,6; 39,2; 36,6; e 39,7 cm h⁻¹ para irrigação sem, com uma, duas e com três intermitências. Com o emissor com 2,0 L h⁻¹ a velocidade foi de 34,7; 25,1; 23,0 e 28,3 cm h⁻¹. Nas irrigações realizadas com um emissor de vazão de 4,0 L h⁻¹, a velocidade da frente de umidade sofreu um decréscimo de 17,65; 23,11 e 16,60%, entre as irrigações sem intermitência e as irrigações com uma, duas e três intermitências, respectivamente; e nas irrigações realizadas com emissores de vazão de 2,0 L h⁻¹, houve um decréscimo de 27,67; 33,72 e 18,44%. A redução na velocidade da frente de umidade aumenta o tempo de oportunidade para extração da água pela cultura, aumentando a eficiência de uso da água, e reduzindo as perdas por percolação profunda.

Palavras-chave: Percolação, Frente de umidade, Lisímetro.

Abstract: The study was conducted in a lysimeter drainage with dimensions of 100 cm edge, using a soil type Entisols, with 94% sand, 1% silt and 5% clay. The tests were conducted using a volume replacement, fixed 8.0 L of water. Irrigation was performed, using a factorial arrangement of two flows (2.0, 4.0 L h⁻¹) for four bursts (one, two, three and flicker). The front velocity of moisture in soil irrigated with the issuing of 4.0 h⁻¹ was, respectively, 47.6, 39.2, 36.6, and 39.7 cm h⁻¹ without irrigation, with one, two and three flashes. With the transmitter with 2.0 L h⁻¹ speed was 34.7, 25.1, 23.0 and 28.3 cm h⁻¹. In irrigations performed with an emitter flow rate 4.0 L h⁻¹, the front velocity on moisture decreased by 17.65, 23.11 and 16.60%, between irrigations without flashing and irrigations with a, two and three flashes, respectively, and held in irrigation emitters with flow of 2.0 L h⁻¹, there was a decrease of 27.67, 33.72 and 18.44%. The reduction in speed from the front of moisture increases the time of opportunity for water extraction by the crop, increasing the efficiency of water use, and reducing deep percolation losses

Key words: Percolation, Front moisture, Lysimeter

INTRODUÇÃO

As perdas de água por percolação profunda é uma constante nos perímetros de irrigação; e seu controle, se constitui em um dos principais desafios no manejo de água.

Em uma ampla avaliação da eficiência da irrigação no Vale do Rio São Francisco, Ramos & Pruski (2003) constataram que, mesmo para os sistemas de irrigação do tipo localizado, a eficiência final da irrigação oscilava em torno de 50%, implicando em elevada perda da água aplicada bem como dos nutrientes veiculados via fertirrigação.

Com a crescente utilização de águas residuárias aplicadas ao solo nas mais diversas formas, o monitoramento da variação espacial e temporal do teor de água no solo possibilita estimar e controlar as perdas de água por percolação profunda e as possíveis perdas de nutrientes por lixiviação, cujo controle é de fundamental

importância para a prevenção de possíveis impactos ambientais, danosos ao lençol freático (Santos et al. 2009).

Segundo Azevedo et al. (1993), as necessidades hídricas das culturas têm sido estabelecidas, utilizando-se dados climáticos, ajustados através do coeficiente de cultivo (Kc). Por outro lado, é necessário que a água aplicada seja totalmente disponibilizada para a cultura, através de uma eficiente aplicação e armazenagem no solo, que é função da textura, do teor de água disponível no solo e do volume de solo molhado.

Segundo Libardi (2005) existe carência de estudos da dinâmica da água em condições não-saturadas; e Elmaloglou & Malamos (2006) propuseram um método, constando de duas equações, que estimam a profundidade da frente de umidade, sendo que a primeira diz respeito ao movimento vertical antes do fim da irrigação e a segunda, o movimento após o término da irrigação.

Recebido em 10 01 2013 e aceito em 22 05 2013

¹ Parte da tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola

¹ Embrapa Semi-Árido. E-mail: tarcizio@cpatsa.embrapa.br

¹ UAEA/UFCG. Email(s): cazevedo@dca.ufcg.edu.br; zedantas@deag.ufcg.edu.br; antuneslima@gmail.com.br; alberto_agronomo@hotmail.com

Revista Verde (Mossoró – RN - BRASIL), v. 8, n. 2, p. 41-48, abr-jun, 2013.

Segundo Leite et al. (2005) a ocorrência de solos arenosos profundos corresponde à aproximadamente 47% do total das terras do semi-árido brasileiro; e os neossolos quartzarênicos, antes considerados inviáveis para a exploração agrícola com irrigação por superfície, mostram-se perfeitamente viáveis para exploração com irrigação por aspersão e localizada.

Em solos com essas características o manejo de água deverá ser feito de maneira a evitar ao máximo as perdas por percolação profunda, visto que são solos com baixa capacidade de retenção de água, e segundo KARAM (1994), irrigação intermitente pode melhorar a eficiência de aplicação da irrigação permitindo que a água permaneça por mais tempo movendo-se pelo no perfil do solo.

Em testes de infiltração realizados por Amaral (2005) em solos tipo Neossolos Quartzarênicos Órticos típicos e Neossolos Quartzarênicos Órticos latossólicos, os resultados apresentaram valores variando de 27,45 a 74,09 cm h⁻¹, indicando que esses solos estão na classe de velocidade de infiltração denominada muito rápida, ou seja, maior que 12,0 cm h⁻¹.

Levin et al. (1979) constataram que um volume de 12,0 L, adicionado ao solo com emissores de vazão de 2,0; 4,0 ou 8 L h⁻¹ com irrigação sem intermitência, provocou uma perda de 26% de água por percolação profunda, abaixo dos 60,0 cm de profundidade, após 12 horas do início da irrigação; e que o mesmo volume aplicado com emissor de 1,0 e 2,0 L h⁻¹ respectivamente, sem e com intermitência, resultou em perda de apenas 12% de água, sem afetar a distribuição horizontal da umidade no perfil do solo.

Dentre os métodos para o monitoramento da umidade do solo destacam-se os sensores capacitivos como reflectometria no domínio do tempo (TDR), que consiste de uma técnica baseada na avaliação da constante dielétrica do solo em cabos condutores (Teixeira et al. 2003).

Este trabalho teve como objetivo a determinação da velocidade da frente de umidade em um solo arenoso,

utilizando-se um sensor de umidade tipo TDR-100, visando gerar subsidio para um manejo adequado nestes tipos de solo, reduzindo as perdas de água, e consequentemente nutriente, por percolação profunda, que poderão contaminar as fontes de águas subterrâneas

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi conduzido em um lisímetro no campo experimental Bebedouro, pertencente à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Semi-árido) localizada no perímetro Irrigado de Bebedouro, Petrolina-PE (Latitude: 09° 09' S, Longitude: 40° 22' W; Altitude: 365 m).

O solo utilizado no lisímetro foi um Neossolo Quartzarênico com 94% de areia, 1% de silte e 5% de argila. Ele foi coletado em uma área com coordenadas geográficas de Latitude 09° 28' 03"S e Longitude 40° 36' 30"W, no projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho, em Petrolina-PE. Foi aberta uma trincheira de 120,0 cm x 120,0 cm x 80,0 cm e o solo coletado em fatias horizontais de 10,0 em 10,0 cm até a profundidade 80,0 cm.

Para a determinação da curva de retenção de água, foram coletadas oito amostras de solo com estrutura indeformada, uma por camada de solo, utilizando-se cilindros tipo Uhland, com dimensões de 6,0 cm de altura e 5,0 cm de diâmetro; e oito amostras com estrutura deformada para determinação das propriedades físicas do solo (Tabela 1), nas profundidades de 0,0 – 10,0; 10,0 - 20,0; 20,0 - 30,0; 30,0 - 40,0; 40,0 - 50,0; 50,0 - 60,0 cm. Para elaboração da curva de retenção (Figura 2), foram utilizadas as tensões de 6,08; 10,33; 33,44; 60,80; 101,33 e 1.519,88 kPa., obtidas através de uma centrífuga de alta rotação no laboratório de solos da Embrapa Semi-árido (Tabela 2). Os parâmetros de ajuste da curva Van genuchten., m e α (Tabela 3), foram obtidos através do software Soil Water Retention Curve - SWRC (DOURADO NETO et al. 2001)

Tabela 1. Dados das propriedades físicas do solo.

PROF (cm)	DA (g cm ⁻³)	DR (g cm ⁻³)	G (%)	F (%)	IL (%)	RG (%)	OR (%)	T -
0,00 – 10,0	1,58	2,67	2	2	1	5	1	Areia
10,0 – 20,0	1,58	2,67	52	42	1	5	41	Areia
20,0 – 30,0	1,58	2,67	52	42	1	5	41	Areia
30,0 – 40,0	1,57	2,70	1	2	2	5	42	Areia
40,0 – 50,0	1,57	2,70	1	2	2	5	42	Areia
50,0 – 60,0	1,57	2,70	1	2	2	5	42	Areia

Condutividade hidráulica (Ko) = 42,0 cm h⁻¹

PROF=Profundidade; DA=Densidade aparente; DR=Densidade real; AG=Areia grossa; AF=Areia fina; SIL=Silte; ARG=Argila; POR=Porosidade; CT=Classe textural.

Tabela 2. Dados de umidade da Curva de retenção

Prof.	Tensão					
	6,08 kPa	10,33 kPa	33,44 kPa	60,80 kPa	101,33 kPa	1.519,88 kPa
	Umidade (cm ³ cm ⁻³)					
0,0-0,10	0,13	0,12	0,10	0,11	0,13	0,12
0,10-0,20	0,10	0,09	0,06	0,08	0,09	0,08
0,20-0,30	0,08	0,07	0,05	0,07	0,07	0,06
0,30-0,40	0,07	0,06	0,04	0,06	0,06	0,05
0,40-0,50	0,07	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04
0,50-0,60	0,05	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03
Média	0,08	0,07	0,05	0,07	0,07	0,06

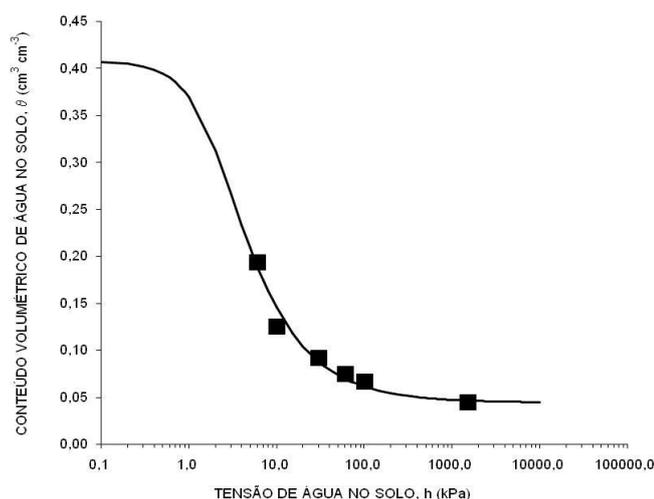


Figura 1. Curva de retenção de água para o um solo neossolo Quartzarênico

Tabela 3. Parâmetros otimizados da curva de Van Genutchen.

Umidade de Saturação	θ_s (cm ³ cm ⁻³)	0,40
Umidade Residual	θ_r (cm ³ cm ⁻³)	0,04
n		1,78
α		0,62
m		0,41
Soma de quadrados		0,0005

O lisímetro foi confeccionado em chapa metálica nº16, e cantoneiras de ferro de 3,0” de largura e 1/8” de espessura, e com dimensões de 100,0 cm de aresta.

No fundo do lisímetro foi colocada uma camada de areia grossa de 15,0 cm e sobre esta uma estrutura metálica formada por 10 canaletas de 100,0 cm por 10,0 cm, e no fundo de cada canaleta foi colocado um tubo de PVC de 1/2”, perfurado e envolvido com bidim.

A comunicação das canaletas com a parte externa foi feita através de orifícios abertos na parede do lisímetro com uma serra copo. A água percolada e drenada durante e após as irrigações, foram direcionada para os coletores plásticos onde posteriormente foram medidos os volumes. (Figura 2).



Figura 2. Detalhe do sistema de drenagem do lisímetro e dos coletores.

Sobre a estrutura metálica foi colocada uma camada de 5,0 cm de brita fina e sobre a camada de brita foi colocada uma camada de areia grossa de 5,0 cm para depois serem colocadas as camadas de solo, obedecendo a mesma sequência de coleta no campo.

Durante a colocação de cada camada de solo no lisímetro, eram instaladas as sondas TDR espaçadas de 10,0 cm até o completo enchimento do lisímetro, perfazendo um perfil de 80,0 cm, conforme Figura 3. Foi utilizado um conjunto de 15 sondas TDR, da Campbell, modelo CS610-L50 com 3 eletrodos de 30,5 cm e cabos, coaxial e modelo RG8 de 15 metros de comprimento.



Figura 3. Corte com detalhes da instalação das sondas TDR

Após o enchimento do lisímetro, foi instalado na parte superior da caixa um suporte de metal onde foi fixado um microtubo que simulava um gotejador (Figura 4) alimentado por um reservatório de água, de carga constante (Figura 5), cujo funcionamento era controlado através de uma válvula Solenoide acionada através do painel de controle da irrigação (Figura 6) a cada comando enviado pelo datalogger.



Figura 4. Detalhe da instalação do emissor e do bulbo molhado

O reservatório de foi montado em uma estrutura de madeira dotada de um mecanismo que permitia a variação da carga hidráulica no emissor para a obtenção das vazões desejadas (Figura 12), e era abastecido de forma contínua por outro reservatório de grande volume. Quando a válvula solenoide era acionada o reservatório de carga constante, liberava a água com vazão de acordo com a carga hidráulica estipulada e com a vazão demandada.



Figura 5. Vista do bulbo infiltrômetro e do suporte para variação da carga hidráulica

Para o controle das intermitências, foi montado um circuito eletrônico (Figura 6), composto de um conjunto de relés que eram ligados e desligados através de comandos enviados pelo datalogger, de acordo com o tempo especificado para cada intermitência, acionando a válvula solenoide que liberava o fluxo de água para o emissor.

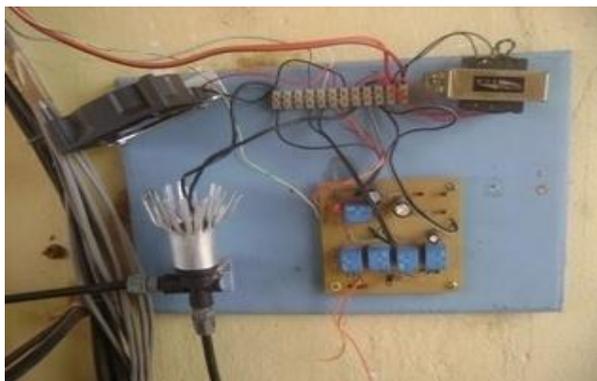


Figura 6. Painel com circuito eletrônico para controle das intermitências

Para a coleta e armazenamento dos dados foi montado um painel com equipamentos em uma caixa selada modelo ENCTDR100 (Figura 7), onde foram instalados um TDR100, um Multiplexador, um Datalogger e uma bateria. Em outra caixa selada foi montado outro multiplexador.

Os sinais eletromagnéticos gerados pelo TDR100 foram transformados em teor volumétrico de água, com base na metodologia de Topp et al. (1980) através da seguinte equação:

$$\theta = 0,0000043\varepsilon^3 - 0,00055\varepsilon^2 + 0,0292\varepsilon - 0,053 \quad (1)$$

Em que:

θ = Umidade volumétrica, em $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$

ε = Permissividade dielétrica do solo



Figura 7. Painel de controle com Datalogger, cabo das sondas TDR; Multiplexador, TDR, Bateria e Keyboard

As sondas ligadas aos multiplexadores foram configuradas usando a Configuração Multiplexer do

software PCTDR. As sete primeiras sondas foram configuradas para operarem nos canais de 1 a 7 do primeiro multiplexador (nível 1). O segundo multiplexador (nível 2) foi configurado para operar no canal 8 do multiplexador nível 1. As oito sonda seguintes foram configuradas para operarem nos canais de 1 a 8 do multiplexador nível 2 (Figura 8).

O Controle do TDR100 e dos multiplexadores foram realizados pelo Datalogger CR1000 através de instruções do programa CRBasic, que além de armazenar os dados processados pelo TDR100, controlava os tempos de irrigação e as intermitências. A instrução "TDR100" do CRBasic controlava seqüencialmente os sinais eletromagnéticos do TDR100, enviados para 15 sondas TDR.

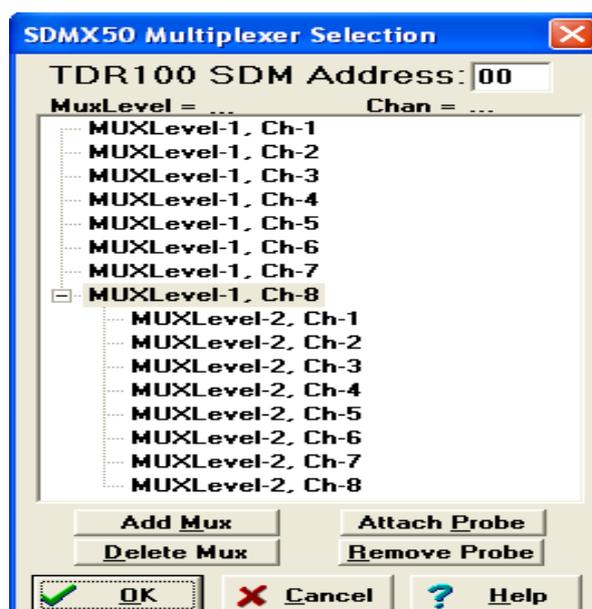


Figura 8. Configuração Multiplexer do software PCTDR.

O comprimento aparente dos cabos das sondas TDR foi determinado através da expressão:

* Comprimento aparente = (Comprimento atual) x (Vp selecionada/Vp atual).

Em que :

Vp = Velocidade relativa da propagação da onda que depende das características da constante dielétrica do material isolante. O valor indicado neste campo é a relação entre a velocidade real de propagação para um determinado tipo de cabo e a velocidade de propagação da energia eletromagnética no vácuo.

O valor para a Vp selecionada para o cabo RG-8 foi = 1,0

O valor para Vp atual para o cabo RG-8 foi = 0,78

A primeira irrigação feita no lisímetro foi realizada com um regador onde foi aplicado um volume de água suficiente para que se iniciasse o processo de drenagem, indicando que todo perfil do solo se encontrava com

umidade acima da capacidade de retenção ou próximo da saturação. Após esse procedimento, o solo permaneceu drenando durante 48 horas para que o solo atingisse a umidade de capacidade de campo e só após esse período, foram iniciados os testes.

Com base na evaporação média anual da estação experimental de Bebedouro, que é de aproximadamente 8,0 mm, os testes foram realizados utilizando um volume de reposição, fixo de 8,0 L de água.

O tempo efetivo e total de irrigação de cada teste foi realizado de acordo as seguintes equações, utilizando-se emissores com vazões de 2,0; 4,0; 8,0 e 12,0 L h⁻¹ e uma, duas, três e sem intermitências. O tempo de cada intermitência foi igual ao tempo de cada pulso de irrigação.

$$T_e = \frac{V}{Q} \quad (2)$$

$$T_p = \frac{T_e}{n_p} \quad (3)$$

$$T_t = T_e + (T_i * n_i) \quad (4)$$

Em que:

T_e = Tempo efetivo de irrigação (h)

T_t = Tempo total de irrigação (h)

T_i = Tempo de cada intermitência (h) = T_p

T_p = Tempo de cada pulso de irrigação (h)

n_i = Número de intermitências

$n_p = n_i + 1$ = Número de pulsos de irrigação

V = Volume de água aplicado (L)

Q = Vazão do emissor (L h⁻¹)

O experimento foi conduzido de acordo com o seguinte esquema:

Primeira bateria de testes: Vazão 2,0 L h⁻¹

- 3 dias consecutivos com irrigação diária sem intermitência.

- 4 dias consecutivos sem irrigação.

- 3 dias consecutivos com irrigação diária com 1 intermitência.

- 4 dias consecutivos sem irrigação.

- 3 dias consecutivos com irrigação diária com 2 intermitências.

- 4 dias consecutivos sem irrigação.

- 3 dias consecutivos com irrigação diária com 3 intermitências.

- 4 dias consecutivos sem irrigação.

Segunda bateria de testes: Vazão 4,0 L h⁻¹

- 3 dias consecutivos com irrigação diária sem intermitência.

- 4 dias consecutivos sem irrigação.

- 3 dias consecutivos com irrigação diária com 1 intermitência.

- 4 dias consecutivos sem irrigação.

- 3 dias consecutivos com irrigação diária com 2 intermitências.

- 4 dias consecutivos sem irrigação.

- 3 dias consecutivos com irrigação diária com 3 intermitências.

- 4 dias consecutivos sem irrigação.

Terceira bateria de testes: Vazão 8,0 L h⁻¹

- 3 dias consecutivos com irrigação diária sem intermitência.

- 4 dias consecutivos sem irrigação.

- 3 dias consecutivos com irrigação diária com 1 intermitência.

- 4 dias consecutivos sem irrigação.

- 3 dias consecutivos com irrigação diária com 2 intermitências.

- 4 dias consecutivos sem irrigação.

- 3 dias consecutivos com irrigação diária com 3 intermitências.

- 4 dias consecutivos sem irrigação

Quarta bateria de testes: Vazão 12,0 L h⁻¹

- 3 dias consecutivos com irrigação diária sem intermitência.

- 4 dias consecutivos sem irrigação.

- 3 dias consecutivos com irrigação diária com 1 intermitência.

- 4 dias consecutivos sem irrigação.

- 3 dias consecutivos com irrigação diária com 2 intermitências.

- 4 dias consecutivos sem irrigação.

- 3 dias consecutivos com irrigação diária com 3 intermitências.

- 4 dias consecutivos sem irrigação.

Os dados gerados pelo conjunto TDR100 e sondas TDR, com a variação da umidade do solo, foram coletados e armazenados em um Datalogger CR1000 que foi programado para efetuar leituras a cada minuto e após a integração dos dados, armazená-los a cada 3 minutos. Os dados foram tabulados e tratados em uma planilha eletrônica. Cada teste diário foi utilizado para gerar um gráfico compostos de um conjunto de curvas de variação da umidade, correspondentes a cada profundidade. A velocidade da frente de umidade foi calculada, levando-se em conta o tempo em que a umidade levou para atingir a uma determinada profundidade (Equação 27). O tempo era definido no instante em que era registrada a variação da umidade no referido ponto após o início de cada irrigação.

$$v = \frac{Pr}{t} \quad (5)$$

Em que:

v = Velocidade (cm h⁻¹)

Pr = Profundidade (cm)

t = Tempo (min)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se nas Figuras 9, 10 e 11 que as curvas para os emissores de vazão de 2,00 e 4,0 L h⁻¹, que após o início da irrigação, as curvas de umidade nas profundidades de 10,0 a 60,0 cm, sofreram variações ao longo do espaço.

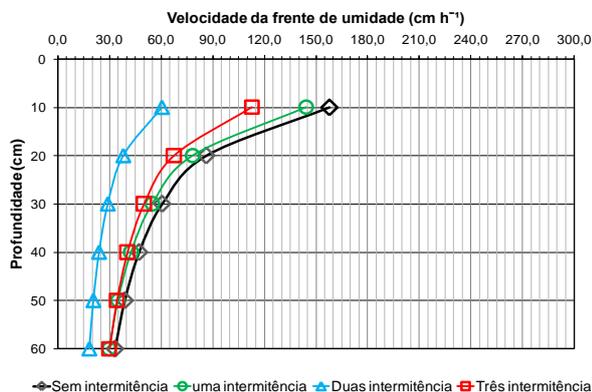


Figura 9. Variação da umidade do solo irrigado com emissor com vazão de 2,00 L h⁻¹.

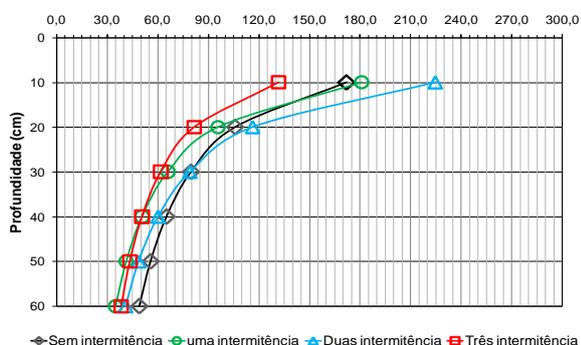


Figura 10. Variação da umidade do solo irrigado com emissor com vazão de 4,00 L h⁻¹.

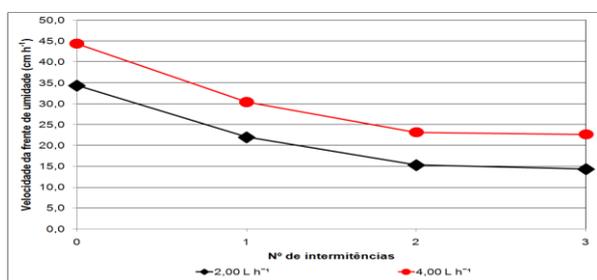


Figura 11. Curvas da frente de umidade em função das vazões dos emissores e das intermitências de irrigação.

Observa-se que a velocidade da frente de umidade no solo irrigado com o emissor de 4,0 L h⁻¹ foi, respectivamente, de 47,6; 39,2; 36,6; e 39,7 cm h⁻¹ para irrigação sem, com uma, duas e com três intermitências. Com o emissor com 2,0 L h⁻¹ a velocidade foi de 34,7; 25,1; 23,0 e 28,3 cm h⁻¹. Nas irrigações realizadas com um emissor de vazão de 4,0 L h⁻¹, a velocidade da frente de umidade sofreu um decréscimo de 17,65; 23,11 e 16,60%,

entre as irrigações sem intermitência e as irrigações com uma, duas e três intermitências, respectivamente; e nas irrigações realizadas com emissores de vazão de 2,0 L h⁻¹, houve um decréscimo de 27,67; 33,72 e 18,44%. A redução na velocidade da frente de umidade aumenta o tempo de oportunidade para extração da água pela cultura, aumentando a eficiência de uso da água, e reduzindo as perdas por percolação profunda.

Com base nos resultados, observa-se que as menores velocidades da frente de umidade ocorreram nas irrigações com duas intermitências e com emissores de 2,0 L h⁻¹. A redução na velocidade da frente de umidade aumenta o tempo de permanência da água no perfil do solo, proporcionando um maior tempo de oportunidade para extração da água pela cultura, aumentando a eficiência de uso da água, e reduzindo as perdas por percolação profunda.

Os resultados estão de acordo com os encontrados por Amaral (2005) em solos tipo Neossolos Quartzarênicos Órticos típicos e Neossolos Quartzarênicos Órticos latossólicos, em os resultados apresentaram valores variando de 27,45 a 74,09 cm h⁻¹, indicando que esses solos estão na classe de velocidade de infiltração denominada muito rápida, ou seja, maior que 12,0 cm h⁻¹ e Levin et al. (1979) que constataram que um volume de 12,0 L, adicionado ao solo com emissores de vazão de 2,0; 4,0 ou 8 L h⁻¹ com irrigação sem intermitência, provocou uma perda de 26% de água por percolação profunda, abaixo dos 60,0 cm de profundidade, após 12 horas do início da irrigação; e que o mesmo volume aplicado com emissor de 1,0 e 2,0 L h⁻¹ respectivamente, sem e com intermitência, resultou em perda de apenas 12% de água, sem afetar a distribuição horizontal da umidade no perfil do solo.

CONCLUSÕES

A redução na velocidade da frente de umidade com o uso da intermitência provoca um aumento no tempo de permanência da água no perfil do solo, proporcionando um maior tempo de oportunidade para extração da água pela cultura;

Para o solo, Neossolos Quartzarênico, nas condições estudadas, a velocidade da frente de umidade é diretamente proporcional à vazão e inversamente proporcional ao número de intermitências.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, F. C. S. do (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de terras para irrigação: enfoque na Região Semi-Árida**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005. 218 p. Convênio Embrapa Solos / CODEVASF.
- AZEVEDO, P.V.; RAMANA RAO, T.V.; AMORIM NETO, M.S.; PEREIRA, J.R.C.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J. e MACIEL, G.F. **Necessidades hídricas**

- da cultura do algodoeiro:** Brasília: Pesquisa Agropecuária Brasileira, 1993. v. 28. n.7, p.863-870.
- DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D.R.; HOPMANS, J.W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S. & LOPES, P.P. **Soil water retention curve.** SWRC, version 3.00. Piracicaba, 2001
- ELMALOGLU, S.; MALAMOS, N. A methodology for determining the surface and vertical components of the wetting front under a surface point source, with root water-uptake and evaporation. **Journal of Irrigation and Drainage**, 2006. 55 (1), 99–111.
- KARAM, N.S.; NIEMIERA, A.X. **Cyclic sprinkler irrigation and pre-irrigation substrate water content affect water and N leaching from containers.** J. Environ. Hort., 1994. 12:198-202.
- LEITE, A. P. ; AMARAL, F. C. S. ; SILVA, F. H. B. B. ; PARAHYBA, R. da B. V. **Aplicando o SiBCTI.** In: Fernando Cezar Saraiva do Amaral. (Org.). Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação Enfoque na Região Semi-Árido. 1 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005, v. 10, p. 189-218
- LEVIN, I.; VAN ROOYEN, P. C.; VAN ROOYEN, F. C. **The effect of discharge rate and intermittent water application by point source irrigation on the soil moisture distribution pattern.** Madison: Soil Science Society American Journal, 1979. v.43, p.816.
- LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo.** São Paulo: EDUSP, 2005. 344p
- RAMOS, M. M.; PRUSKI, F. F. Subprojeto 4.3: **quantificação e análise da eficiência do uso da água pelo setor agrícola na bacia do São Francisco.** In: Projeto gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco. Viçosa, MG: UFV: ANA: GEF: PNUMA: OEA, 2003. p.185-190. Relatório Final.
- SANTOS, M. R.; MARTINEZ, M. A.; MATOS, A. T.; OLIVEIRA, R. A.; ZONTA, J. H. **Uso da Reflectometria no Domínio do Tempo para avaliar a distribuição de nitrato em colunas de solos fertirrigados.** *Ami-Agua*, Taubaté, v. 4, n. 3, p. 67-81, 2009. (doi:10.4136/ami-*agua*.103)
- TEIXEIRA, W.G.; SCHROTH, G.; MARQUES, J.D.; HUWE, B. **Sampling and TDR probe insertion in the determination of the volumetric soil water.** R. Bras. Ci. Solo, 2003. 27:575-582..
- TOPP, G.C.; DAVIS, J.L.; ANNAN, A.P. **Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines.** Washington: Water Resources Research, 1980. v. 16, n.3, p.574-582