

Condutividade Hidráulica Não Saturada de Um Fragipânico Coeso Determinada pelo Método do Perfil Instantâneo

Hugo Orlando Carvalho Guerra¹

hugo_carvalho@hotmail.com

DEAG/CTRN/UFCEG

Rogério Dantas de Lacerda

rogerio_dl@yahoo.com.br

Genival Barros Junior

barrosjunior@yahoo.com.br

Resumo: *A condutividade hidráulica é o coeficiente de proporcionalidade da equação de Darcy e que, no solo, expressa a facilidade com que a água se transmite no perfil. A sua avaliação sob condições de não saturação é de fundamental importância na resolução de problemas práticos ligados ao uso e manejo da água, visto que, a maior parte dos processos que envolvem o movimento de água em condições de campo, ocorre quando o solo se encontra não saturado. A presença de camadas subsuperficiais no solo, fortemente adensadas, apresenta forte influência na condutividade hidráulica do solo e, conseqüentemente, na infiltração e condução de água no perfil. Visando identificar estas camadas, realizaram-se testes pelo método do perfil instantâneo em solos dos tabuleiros costeiros do distrito de irrigação de Platô de Neópolis-SE para determinar a condutividade hidráulica ($K(\theta)$) em função da umidade do solo. Valores do potencial matricial e umidade volumétrica correspondentes foram obtidos a partir de tensiômetros instalados a seis diferentes profundidades. Os resultados comprovaram a adequação do método utilizado, com os valores obtidos de $12,0 \text{ cm h}^{-1}$ e de $2,0 \text{ cm h}^{-1}$ para o conteúdo de água do solo de $0,22 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ para a primeira e segunda profundidade, respectivamente.*

Palavras-chave: *perfil instantâneo, potencial matricial, condutividade capilar.*

1. Introdução

Formações terciárias presentes na maioria das costas do litoral nordestino, os Tabuleiros Costeiros consistem numa vasta planície com elevações que variam de 30 a 200 m de altitude acima do nível do mar, compreendendo platôs de origem sedimentar com grau de entalhamento variável, que podem apresentar vales estreitos e encostas abruptas, podendo aparecer abertas e suaves ou profundas com amplas várzeas (EMBRAPA, 1994).

Segundo Ribeiro (2001) o uso dos solos dos tabuleiros para irrigação necessitam de estudos e pesquisas que visem resolver, entre outros impasses, aqueles decorrentes da presença de horizontes coesos. Extensas áreas de irrigação no País são cultivadas de maneira padronizada, trazendo problemas no manejo, em virtude da variabilidade espacial e temporal dos atributos relacionados ao sistema solo-água-planta-atmosfera. O Platô de Neópolis por apresentar aparente homogeneidade das propriedades físicas dos solos, associada à uniformidade da paisagem, fazem com que os

produtores utilizem, indistintamente, os mesmos volumes de água e freqüências de irrigação, sem considerar os diferentes níveis de adensamento dos horizontes dos solos ali existentes, sua posição no perfil e, conseqüentemente, as alterações que promovem no regime hídrico dos mesmos.

Os horizontes coesos, com alta densidade e baixa condutividade hidráulica, impõem condições inadequadas aos fatores físicos de crescimento e promovem atrasos no desenvolvimento das culturas. Forsythe (1973) estabelece diferenças claras entre propriedades físicas e fatores físicos de crescimento; segundo ele, as propriedades físicas: textura, infiltração de água, densidade do solo e condutividade hidráulica, entre outras, influenciam os fatores físicos de crescimento: potencial total de água no solo, aeração, temperatura e resistência mecânica à penetração das raízes.

Atualmente, a fruticultura e, em especial, o coqueiro anão-verde cultivado para a produção de água, tem ocupado grandes extensões dos tabuleiros, a exemplo do Distrito de Irrigação do Platô de Neópolis. Apesar do sucesso alcançado nesse Pólo

de Irrigação, um dos grandes problemas na atividade da fruticultura irrigada ainda é a carência de informações precisas sobre as características físicas e hídricas dos solos, fundamentais para estabelecimento de um manejo eficiente das áreas e da própria irrigação.

Dentre as propriedades físicas de um solo, a condutividade hidráulica é o coeficiente de proporcionalidade da equação de Darcy que determina o movimento de fluídos num meio poroso (CARVALLO GUERRA, 2000), expressando a facilidade com qual a água é transmitida no perfil e que depende diretamente das propriedades do meio como do fluido (Libardi, 2002).

Para determinação da condutividade hidráulica é necessário criar um plano de fluxo nulo, o que se consegue cobrindo a superfície do solo para impedir possíveis trocas com a atmosfera. É uma propriedade que depende das características do solo, especificamente do sistema poroso (porosidade total, distribuição do tamanho dos poros e tortuosidade) da textura do arranjo das partículas (estrutura), da dispersão das partículas finas e da sua densidade e da massa sólida, e ainda das características do fluido, que segundo Beltran (1986), está relacionada a fluidez do líquido, que é proporcional à sua viscosidade e densidade.

A avaliação da condutividade hidráulica é de fundamental importância na resolução de problemas práticos ligados ao manejo de irrigação e drenagem, visto que, a maior parte dos processos que envolvem o movimento de água em condições de campo, ocorre quando o solo se encontra não saturado. A descrição quantitativa do movimento de água nessas condições é muito complexa, dada a variação constante do conteúdo de água do solo (Fernandez, 1980). Medições "in situ" da condutividade hidráulica, em função da tensão da água no solo, são de elevada importância na caracterização do movimento desta água no perfil em condição de não saturação, uma vez que, permite determinar componentes tais como: infiltração e escoamento da água de chuva e irrigação, movimento de solutos e nutrientes, bem como demandas para projetos de irrigação e drenagem (Hillel, 1970).

Aurélio (1992), citado por Andrade (1997), afirma que solos de geometria idêntica não apresentam necessariamente propriedades hidráulicas idênticas. Para Klar (1988), também citado por Andrade (1997), além da textura, outras variáveis do solo afetam a condutividade hidráulica, tais como: estrutura, porosidade e principalmente o tamanho dos poros, sendo esta última responsável nos solos arenosos por apresentarem maiores valores de condutividade hidráulica, em condições de saturação, que os de texturas mais fina.

Dentre os vários métodos desenvolvidos para se determinar a condutividade hidráulica, um dos mais utilizados é o do perfil instantâneo, método este, segundo Luc (1978), o único que permite obter, in situ a relação entre a condutividade hidráulica e a umidade volumétrica (curva $K(\theta)$). Como limitação ao seu uso estão as condições de contorno as quais pressupõem o ar sob pressão atmosférica, solo não expansivo, água pura e um sistema isotérmico. Richards, Gardner e Ogatta, segundo Klute (1972), foram os primeiros a utilizar o "Método do Perfil Instantâneo" sob condições de campo, a partir do qual, procurou-se uma solução para a equação de Richards na direção vertical, saturando-se o perfil de solo e impedindo o fluxo de água através de sua superfície.

Desta forma, objetivou-se com esse estudo determinar a condutividade hidráulica não saturada de um solo classificado como Argissolo Amarelo Distrófico Fragipânico presente nos Tabuleiros Costeiros na região nordeste do Estado de Sergipe, através do método do perfil instantâneo.

2. Material e métodos

2.1 Caracterização da área experimental

O trabalho foi desenvolvido em uma área do Distrito de Irrigação do Platô de Neópolis, pertencente a empresa H. Dantas (lote nº 24), município de Neópolis - Estado de Sergipe, cujo principal cultivo está baseado na cultura do coqueiro anão-verde, destinado à comercialização da água do coco "in natura", no período de Janeiro a Dezembro de 2000.

Segundo a classificação de Koppen, o clima da área é do tipo semi-úmido com verão úmido e quente, precipitação pluvial em torno de 1.200 mm anuais, com chuvas concentradas nos meses de abril a setembro e temperatura média anual em torno de 25 ° C. A altitude média da área é de 90 m e os solos são em sua maioria classificados como Argissolo Amarelo distrófico fragipânico, de textura arenosa média, fase cerrado e cerrado subperenifólio, relevo plano a suave ondulado, sendo esta última sua principal característica.

2.2 Parâmetros a validados no ensaio:

2.2.1 Características físicas do solo - determinação da granulometria, densidade global, densidade e tamanho das partículas e porosidade.

As amostras com estrutura deformada, coletadas em camadas de solo com 0,20 m de espessura até a profundidade de 1,2 m, após secas ao ar, desagregadas e passadas por uma peneira com 2 mm de abertura de malha, foram submetidas a análise seguindo a metodologia descrita pela EMBRAPA (1997), para determinação da distribuição do tamanho das partículas, densidade global e das partículas e porosidade total.

2.2.2 Curva de retenção de água do solo em estudo

Para a obtenção das curvas de retenção de água foram utilizadas amostras com estrutura indeformada, coletadas em camadas de solo nas profundidades de 0 - 0,20; 0,20 - 0,40; 0,40 - 0,60; 0,60 - 0,80; 0,80 - 1,00; 1,00 - 1,20 m, através de um amostrador tipo Uhland, cujas dimensões de 0,0599m de altura e 0,0537m de diâmetro, foram subdivididos em três segmentos iguais e separáveis, o que possibilitou a utilização, apenas, do anel central, de forma que a amostra fosse originada de uma camada de solo que tivesse sofrido o mínimo distúrbio na sua estrutura durante o procedimento de coleta. Para confeccionar da curva de retenção utilizaram-se as tensões 0,5; 1; 4; 10; 33; 100; 500 e 1500 kPa, sendo que, para aplicação das tensões 0,5; 1; 4; 5 e 10 kPa foram utilizados funis de placa porosa, enquanto para as tensões 33 e 100 kPa foram utilizadas câmaras de baixa tensão; de alta tensão, por sua vez, foram utilizadas para os pontos 500 e 1500 kPa. O ajuste das curvas de retenções da água no solo utilizou o modelo de van Genuchten (1980), através o software SWRC, desenvolvido por Dourado Neto et al. (1990). A equação (1) utilizada considera o potencial mátrico (ψ_m) como variável independente e a umidade volumétrica (θ) como variável dependente:

$$(1) \quad \theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha \cdot |\Psi_m|)^m\right]^n}$$

Em que:

- θ_r - umidade volumétrica residual ($m^3 m^{-3}$);
- θ_s - umidade volumétrica saturada ($m^3 m^{-3}$);
- ψ_m - potencial mátrico (kPa);
- α, m, n - parâmetros empíricos da equação.

Considerou-se a capacidade de campo (CC), o conteúdo de água do solo obtido com a aplicação da tensão de 10 kPa e, como ponto de murcha (PM) a obtida com a tensão de 1500 kPa.

2.2.3 Condutividade hidráulica

A metodologia utilizada para determinação da condutividade hidráulica foi a do perfil instantâneo por ser considerada adequada para solos heterogêneos e com lençol freático profundo (caso do solo utilizado), que consistiram na instalação de 03 diques, delimitados com folhas de zinco, com 1 metro de altura por 5 metros de diâmetro, enterradas de tal forma que possibilitasse aplicar uma lâmina de água de 0,2 m de altura, homoganeamente por toda a área represada Fig. (1). Após o preparo das parcelas foram instalados em cada dique, conjuntos de seis tensiômetros com manômetro de mercúrio nas profundidades 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9; 1,1 m, para a medida do potencial mátrico e posterior obtenção da umidade volumétrica, a partir da curva de retenção de água.

O princípio do método prevê a saturação do solo por uma fonte permanente de água até que tenha sido estabelecido um fluxo constante, no caso, até a profundidade de 1,10 m. Esta condição foi considerada satisfeita, quando as leituras dos tensiômetros não mais variaram indicando que tinha sido atingida a condição de regime estacionário. Obtida a saturação suspendeu-se o fornecimento de água. Ao ser atingido esse ponto, a área foi coberta com uma dupla camada de plástico, envolvendo material isolante térmico, para atendimento das condições de contorno do método, as quais, prevêem completa ausência de evaporação e de entrada de água através da superfície Fig. (2). Com estes cuidados, a redistribuição da água pelo processo de drenagem interna, foi monitorada durante 49 dias através das medidas diárias dos potenciais mátricos nas profundidades avaliadas.

O conjunto de tensiômetros foi ligado através de micro-tubos de nylon com 0,002 m de diâmetro e comprimento variável, a uma única cuba de acrílico presa a uma haste de alumínio onde as leituras da altura da coluna de mercúrio foram efetuadas. O cálculo do potencial mátrico (ϕ_m) foi obtido com base na equação (2) apresentada a seguir:

$$(2) \quad \phi_m = -12,6h + hc + z$$

Em que:

- h - corresponde aos valores medidos da coluna de mercúrio;
- hc - distância entre a superfície do solo e o nível superior da coluna de mercúrio na cuba do tensiômetro;
- z - profundidade de instalação da cápsula porosa.



Figura 1 - Inundação do dique até a saturação total do perfil do solo



Figura 2 - Detalhe do pó de serra colocado para isolamento térmico sobre uma lamina de plástico preto e instalação de tensiômetros.

A condutividade hidráulica foi determinada em função da variação do conteúdo de água no solo para cada intervalo de tempo ($d\theta/dt$) e da tensão matricial ($d\Psi/dz$), com os dados processados de acordo com a equação (3):

$$(3) \quad \overline{Kz} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \int_0^z (d\theta/dt) dz dt}{\{(d\Psi/dz) + 1\}(t_2 - t_1)}$$

Em que:

K - Média da condutividade hidráulica para o intervalo $t_1 - t_2$;

Z - profundidade considerada;

Ψ_m - Potencial matricial;

θ - Conteúdo de água volumétrico.

3. Resultados e discussão

A distribuição do tamanho das partículas do solo para as diversas camadas investigadas é apresentada na Tabela (1).

Tabela 1. Distribuição do tamanho de partículas nas áreas experimentais ($g\ kg^{-1}$)

Prof. (m)	Distribuição da Fração Areia* ($g\ kg^{-1}$)					Areia Total	Silte	Argila	Classificação Textural
	AMG	AG	AM	AF	AMF				
0,00-0,20	45,32	230,37	384,17	202,56	29,68	892,11	50,23	57,66	Areia
0,20-0,40	25,07	165,71	370,41	263,62	38,51	863,32	51,44	85,24	Areia Franca
0,40-0,60	62,30	187,41	301,66	233,28	47,24	831,88	65,30	102,82	Franco Arenoso
0,60-0,80	49,41	194,88	289,58	218,47	40,98	793,31	86,29	120,40	Franco Arenoso
0,80-1,00	45,33	152,35	291,33	235,70	46,74	771,44	98,15	130,41	Franco Arenoso
1,00-1,20	48,32	166,24	266,18	222,22	52,49	755,44	111,59	132,98	Franco Arenoso
Média	45,96	182,83	317,22	229,31	42,61	817,92	77,16	104,92	

* AMG = Areia Muito Grossa (2 a 1mm), AG = Areia Grossa (1 a 0,5mm), AM = Areia Média (0,5 a 0,25mm), AF = Areia Fina (0,25 a 0,1mm), AMF= Areia Muito Fina (0,1 a 0,05mm).

A análise destes dados ratifica as afirmações de Araújo Filho et. al (2001), de que a cobertura pedológica dos Tabuleiros Costeiros, principalmente nesta região, é constituída por solos com acentuada variação textural entre os horizontes superficiais arenosos e os de subsuperfície mais argilosos, característica que se inclui entre os fatores responsáveis pela formação de camadas coesas subsuperficiais ao longo dos perfis.

Entre os atributos físicos avaliados nesse ensaio, a Densidade Global do solo apresentou variações

bastante significativas, permitindo inferir que na área estudada o solo tende a apresentar um caráter coeso. Pode-se observar na Tabela (2), que o perfil apresenta densidade com índice médio de $1,67 \text{ kg m}^{-3}$, com pontos mais adensados a 0,30 m da superfície ($1,71 \text{ kg m}^{-3}$) e a 1,10m ($1,69 \text{ kg m}^{-3}$), o que contribui para formação de bolsões de água que se acumulam entre as camadas adensadas dentro do mesmo perfil, originando graves problemas de manejo de irrigação como já alertava Matsura et al (2001).

Tabela 2. Densidade do solo (Ds), densidade das partículas (Dp), porosidade do solo e parâmetros de retenção de água.

Prof. (m)	Ds (kg m^{-3})	Dp (kg m^{-3})	Porosidade * ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	Parâmetros das curvas de retenção de água ajustadas pelo modelo van Genuchten				
				α	m	N	θ_r	θ_s
0-0,20	1,63	2,60	0,38	0,4179	0,5566	2,2554	0,057	0,380
0,20-0,40	1,71	2,63	0,34	0,4730	0,4884	1,9546	0,073	0,340
0,40-0,60	1,68	2,65	0,33	0,2866	0,6075	5,5479	0,079	0,330
0,60-0,80	1,66	2,63	0,33	0,4220	0,4606	1,8540	0,067	0,330
0,80-1,00	1,65	2,65	0,33	0,2879	0,5736	2,3451	0,077	0,330
1,00-1,20	1,69	2,68	0,33	0,2860	0,5983	2,4897	0,085	0,330

*Para transformar em porcentagem, multiplicar por 100.

Por outro lado, a Densidade das Partículas do solo apresenta pequena variação ao longo do perfil, obtendo-se um valor médio de $2,64 \text{ kgm}^{-3}$, bem próximo de $2,65 \text{ kgm}^{-3}$, valor que, considerando a proporção dos diferentes constituintes que aparecem na massa do solo, e a insignificante variação destes materiais, na formação dos mais diversos tipos de solos, passou a ser considerado padrão pela Sociedade Internacional da Ciência do Solo (Guerra, 2000).

Com relação às curvas características obtidas para as várias camadas do solo Fig. (3),

constata-se que a partir da tensão de 10 kPa, a retenção de água apresenta-se distinta nas camadas mais superficiais do solo, comportamento tal que indica a necessidade de cuidados especiais com o manejo da irrigação das áreas em cultivo, nesta mancha de solo, tanto no volume de água aplicado quanto na frequência de irrigação, uma vez que é nessa faixa de solo que esta concentrada a maior parte do sistema radicular das plantas.

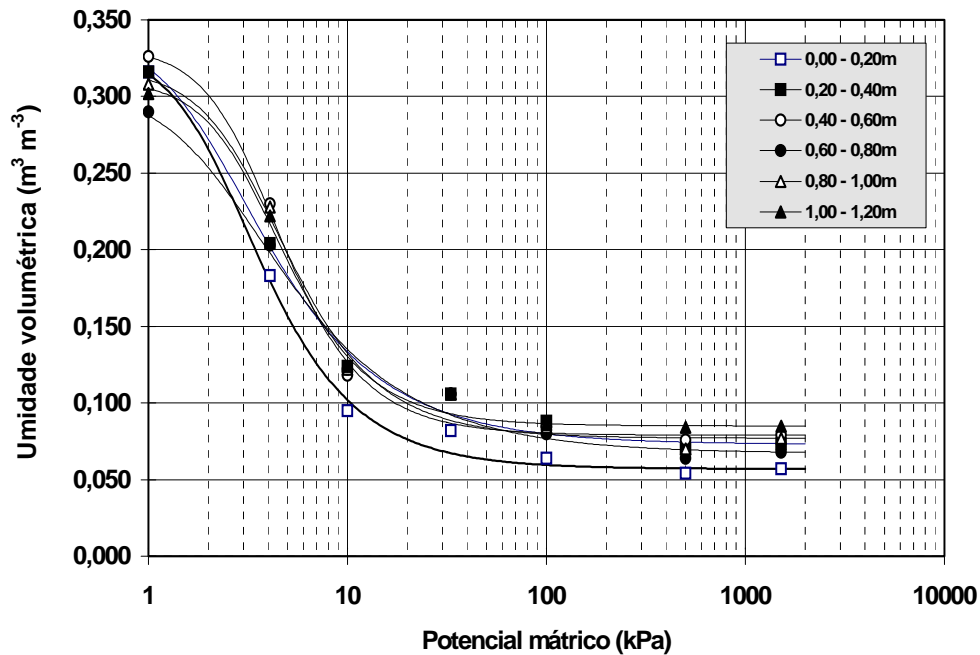


Figura 03 – Curvas características das diversas camadas de solo estudadas

A partir destas curvas de retenção foram obtidos os valores do conteúdo de água em volume a partir das tensões lidas nos tensiômetros para cada uma das profundidades estudadas.

O comportamento da condutividade hidráulica do solo para as profundidades de 0 a 20, 20 a 40, 40 a

60, 60 a 80, 80 a 100 e de 100 a 120 cm, pode ser observado na Fig. (4), na qual são apresentados os valores obtidos em função do conteúdo de água do solo para os três diques construídos.

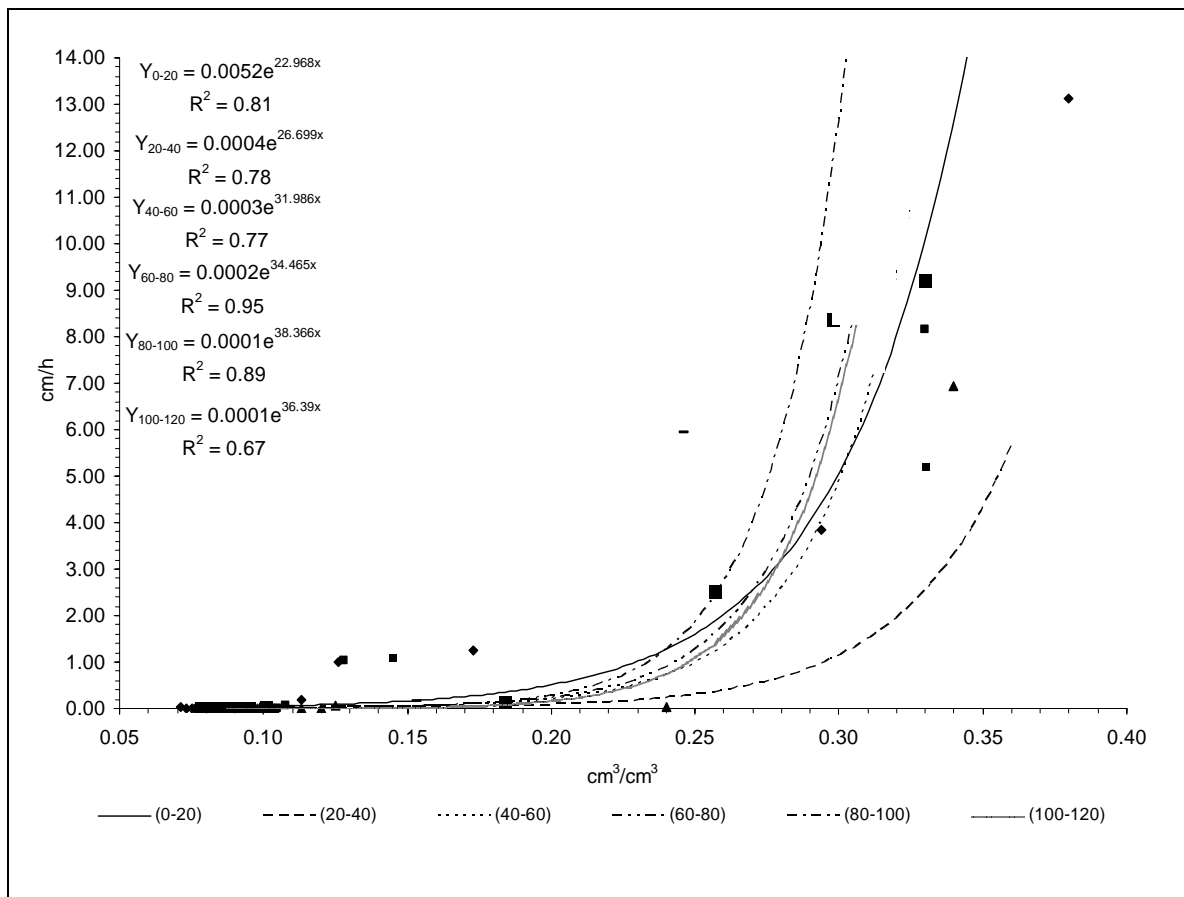


Figura 4. Condutividade hidráulica obtida por profundidade.

É possível observar uma situação distinta quanto à condução da água no perfil, com redução acentuada da primeira (0 a 20 cm) para a segunda profundidade (20 a 40 cm), tanto na condição próxima a saturação ($0,24 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) e, principalmente, quando leva-se em conta o índice médio referente a 50 % da porosidade do solo, que é de $0,15 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$, com reduções de 23,5 % (de $11,13 \text{ cm h}^{-1}$ para $8,51 \text{ cm h}^{-1}$) e 99,85 % (de $0,786 \text{ cm h}^{-1}$ para $0,009 \text{ cm h}^{-1}$), respectivamente, evidenciando a relação existente entre o adensamento da segunda camada, já explicitada quando detectou-se uma Densidade Global de $1,71 \text{ kg m}^{-3}$ para esta faixa do solo em comparação a primeira camada que apresentou índice de $1,63 \text{ kg m}^{-3}$, e a redução da condutividade hidráulica, o que caracteriza a existência de uma camada coesa nesta profundidade.

Em geral, é sabido que as diferenças e semelhanças observadas na condutividade hidráulica nas diferentes profundidades, estão relacionadas às características físicas de cada camada, principalmente, quanto à distribuição do tamanho das partículas, estrutura, distribuição do tamanho dos poros, espaço poroso total e geometria destes poros. De acordo com Nye & Thinker (1977), em solos cultivados, a magnitude da condutividade hidráulica na camada superficial do solo está relacionada ao grau de compactação e às mudanças estruturais promovidas pelas práticas de preparo do solo.

É importante notar que, imediatamente após a camada coesa (40 a 60 cm de profundidade), a condutividade hidráulica diminui ainda mais na condição próxima da saturação (caindo de $8,51 \text{ cm h}^{-1}$ para $6,86 \text{ cm h}^{-1}$), porém não ocorrendo o mesmo quando o conteúdo de água ocupava apenas 50 % dos poros, voltando a condutividade hidráulica a subir vertiginosamente em relação a camada anterior (de $0,0049$ para $0,045 \text{ cm h}^{-1}$). A análise da condutividade na camada seguinte (60 a 80 cm), permite-nos diagnosticar uma melhora na condução da água; entretanto, registra-se nova queda na profundidade seguinte (100 a 120 cm), em face de presença de outra camada coesa, reduzindo a condutividade hidráulica nesta faixa do perfil em mais de 32 %, passando de $6,99$ para $4,75 \text{ cm h}^{-1}$, camada na qual, a Densidade Global mais uma vez subiu em relação a camada anterior, passando de $1,65$ para $1,69 \text{ kg m}^{-3}$. Os altos níveis de adensamento destas camadas do solo (segunda e última), com certeza impõem alterações aos fatores

físicos de crescimento, entre os quais o potencial de água no solo e na sua aeração, além de impor uma forte resistência mecânica à penetração das raízes (Forsythe, 1973).

Hillel (1970) ressalta que a existência de camadas adensadas em um perfil de textura arenosa restringe o movimento da água até que esta se acumule o suficiente para saturar os poros grandes; por outro lado, camada superficiais muito arenosas, caso do solo em estudo (89,2 % de areia), os poros são rapidamente esvaziados com pequena redução no conteúdo de água e tornam-se, rapidamente, pouco condutivos. Poros pequenos, por sua vez, permanecem cheios e condutivos para um mesmo valor de queda de umidade, reduzindo mais lentamente a condutividade hidráulica; entretanto, nas camadas coesas, apesar de apresentarem uma grande proporção de poros pequenos, a elevada tortuosidade proporcionada pela alta densidade do solo atua, provavelmente, como o principal fator restritivo à condução de água.

Por fim, os resultados obtidos demonstram que o método do perfil instantâneo, utilizado na determinação da condutividade hidráulica, apresentou uma bons resultados, com as curvas geradas para $K(\theta)$ em função do conteúdo de água do solo em % de volume, apresentando um valor médio de R^2 de 0,81.

4. Conclusões

- A existência de camadas coesas no perfil do solo promove uma redução drástica da condutividade hidráulica, chegando em alguns casos a praticamente paralisar a passagem da água;
- Mesmo que extremamente arenoso, solos semelhantes ao do estudado, apresentam uma necessidade imperiosa de aumento no rigor do manejo da irrigação e das práticas de sua exploração;
- Mesmo com a presença de camadas coesas, sob condições próximas a saturação, a condutividade hidráulica média para o solo em estudo foi de $7,648 \text{ cm h}^{-1}$, considerada alta;
- Em condição de não saturação e em função das camadas adensadas, com a água ocupando aproximadamente 50 % dos poros, a condutividade hidráulica média foi de $0,1756 \text{ cm h}^{-1}$, ou seja, extremamente lenta para um solo arenoso.

5. Referências bibliográficas

- ANDRADE, A.R.S, de **Características físicas-hídricas dos solos da estação experimental da embrapa algodão, Variabilidade espacial**, 1997, 100 p, (Dissertação de Mestrado) – Centro de Ciências e Tecnologia, Campus II, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB.
- ARAUJO FILHO, J, T. **Variabilidade espacial de parâmetros físico-hídricos num solo aluvial da microbacia hidrográfica do riacho São Pedro-Paraíba-Brasil**, 2001, 101p, (Dissertação de Mestrado) – Centro de Ciências e Tecnologia, Campus II, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB.
- BELTRÁN, J.M. *Drenaje agrícola*. Madrid: Ministerio da Agricultura, Pesca y Alimentacion, 1986. v.1. 239p. Bentley, W.J.; Skaggs, R.W.; Parsons, J.E. The effect of variation
- BERRETA, A.L; CICHOTA, R; VAN LIER, Q. De J. **Parametrização do método do perfil instantâneo para a determinação da condutividade hidráulica do solo em experimentos com evaporação**. R. Brás. Ci. Solo, Viçosa, V.29, n.2, p.301-307, 2005.
- CARVALLO GUERRA, H, O, **Física dos solos**. Campina Grande, Pb Departamento de Engenharia Agrícola -Centro de Ciência e Tecnologia CCT - UFPB, 175p. 2000.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Tabuleiros Costeiros. **Plano Diretor (CPATC)**. Brasília – DF: EMBRAPA, SPI, 1994; 37p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FERNANDEZ, B. M. **Relação – Solo – Água – Planta**. Areia – Pb. CCA / UFPb. Apostila mimeografada. 1980.
- FORSYTHE, W. **Densidad de las partículas del suelo, método com água y kerosene**. In: **Curso de Física de Suelo – Turrialba**, IICA, 1973, 14p.
- HILLEL, D. **Solo e água: fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre: UFRGS, Departamento de solos, 1970. 231p.
- KLAR, A.E. **Água no Sistema Solo-Planta-Atmosfera**, Ed, Nobel, São Paulo, 1988, 408 p.
- KLUTE, A. Laboratory measurement of hydraulic conductivity and diffusivity of unsaturated soil. **Soil Science**, 113: 264 – 276, 1972.
- LACERDA, R. D. de; GUERRA, H.O.C; BARROS JÚNIOR, G; CAVALCANTI, M.L.F; BARROS, A.D. Determinação da condutividade hidráulica de um solo argiloso pelo método do perfil instantâneo. **RBCT, Campina Grande, v.5,n.1. 2005.**
- LIBARDI, P. L., Dinâmica da água nos solos de tabuleiro. In **ARAUJO, Q. R. de. (Org.)**. 500 anos de uso do solo no Brasil. **Ihéus: UESC, 2002. p.581-596.**
- MATSURA, E.E.; JAVAREZ JÚNIOR, A; GOMES, E.P.; SOUZA, C.F.; *Aplicações da técnica de TDR na agricultura*. Campinas: UNICAMP/FEAGRI, 2001. 178p
- NYE, P.H.; THINKER, P.B. **Solute movement in the soil-root system**. London:Blackwel Scientific, 1977. 341p.
- RIBEIRO, M. R. Características morfológicas dos horizontes coesos dos solos dos Tabuleiros Costeiros. In: CINTRA, F.L.D; ANJOS, J. L. dos; IVO, W. M.P. de M, **Workshop Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros**, Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.161-168.
- VAN GENUCHTEN, M.Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, v.44, n.5, p.892-898, 1980.

Responsabilidade de autoria

As informações contidas neste artigo são de inteira responsabilidade de seus autores. As opiniões nele emitidas não representam, necessariamente, pontos de vista da Instituição e/ou do Conselho Editorial.