COMISSÃO I - FÍSICA DO SOLO

RETENÇÃO E MOVIMENTO DE ÁGUA EM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO IRRIGADO DE PETROLINA (PE)[1]

E. N. CHOUDHURY [2] & A.A MILLAR[3]

RESUMO

Foram estudadas as características de retenção e movimento de água em duas unidades de Latossolo Vermelho-Amarelo irrigadas do Projeto Bebedouro em Petrolina (PE). Para as diferentes camadas do perfil do solo, definiram-se as curvas de retenção de água e condutividade capilar, relacionando-se a condutividade e a taxa de drenagem das camadas às condições de umidade e à água armazenada no perfil do solo. Verificou-se que a capacidade de retenção de água entre as tensões de 0,1 e 15 bares aumentou com a profundidade nas duas unidades de solos e que a drenagem interna desses solos foi contínua e uniforme através de todo o perfil, sendo que as relações obtidas podem ser utilizadas na definição da componente de drenagem nos balanços hídricos.

SUMMARY: *WATER RETENTION AND MOVEMENT IN RED YELLOW LATOSOL FROM PETROLINA, PE, BRAZIL*

The water retention and water movement characteristics of two irrigated latosols units from the Bebedouro Project, Petrolina (PE), were studied. The water retention curves and capillary conductivity were defined to different depths of the soil profile and the relationship of capillary canductivity and drainage rate with moisture conditions and water storage in the soil profile were found.

It was verified that the soil water holding capacity within the tension range from 0.1 through 15 bars increased as the depth increased for the two latosols units and that the internal drainage of those soils is continuous and uniform through the profile. Therefore, the relationship obtained may be utilized in the definition of the drainage component of the water balances.

INTRODUÇÃO

A caracterização da retenção e das propriedades transmissoras da água no solo é um requisito necessário para a descrição quantitativa do perfil do solo no ciclo hidrológico.

A obtenção das curvas de retenção de água dos solos, em condições de irrigação, é fundamental, por constituir elemento básico nos estudos da dinâmica da água e das relações hídricas do sistema solo-planta-atmosfera. Os dados das curvas de retenção permitem calcular a difusividade capilar e estabelecer a relação entre condutividade capilar versus potencial matricial (Black et alii, 1969; Black et alii, 1970; Millar, 1975), como também estimar o nível de potencial matricial onde culturas podem desenvolver sem acarretar reduções significativas nas produções (Vittum et alii, 1958; Millar, 1976 e Choudhury et alii, 1978) e, conseqüentemente, a lâmina de água a ser aplicada nas irrigações.

A utilização prática do conhecimento das propriedades transmissoras do solo reflete-se em grande número de processos físicos, químicos e biológicos de importância agrícola, quando o solo é manejado sob condições de irrigação. Entre esses fenômenos, pode-se mencionar a contribuição de água pelo lençol freático aos cultivos (Rijtema, 1965, e Wind, 1961), a absorção de água pelo sistema radicular das culturas (Gardner, 1960), o movimento de nutrientes associados ao fluxo de água (Gardner, 1965, e Nielsen & Biggar, 1973), a drenagem interna abaixo da zona radicular efetiva (Black et alii, 1970; LaRue et alii, 1968, e Millar et alii *) e a salinização ou movimento de sais para a superfície no fluxo

(1) Contribuição conjunta do CPATSA/EMBRAPA e CODEVASF (Convênio EMBRAPA/CODEVASF). Recebido para publicação em setembro de 1979 e aprovado em julho de 1982.

(2) Pesquisador em Física de Solo do Centro do Trópico Semi-Árido (CPATSA/EMBRAPA), Caixa Postal 23, CEP 063000, Petrolina (PE).

(3) Técnico do IICA e Consultor Técnico do CPATSA/EMBRAPA.

(*) Millar, A. A.; Choudhury, E. N.; Abreu, T. A. dos S. Determinação de evapotranspiração em tomate industrial através do balanço completo de água sob diferentes regimes de irrigação. (Trabalho apresentado no IV Congresso de Irrigação e Drenagem, Salvador, 1978).

capilar (FAO, 1973). Por outro lado, o conhecimento das características transmissoras do solo é um elemento básico para determinar um adequado manejo dos sistemas de irrigação subsuperficial e por gotejamento (Griddle & Kalisvaart, 1967).

O presente trabalho teve por objetivo estudar as relações hídricas e as características do movimento de água no perfil de duas unidades de latossolos sob condições de irrigação.

TEORIA

A equação da continuidade em uma dimensão e o movimento da água em um perfil do solo sem superfície evaporante é:

$$\delta\Theta/\delta t = \delta(K\ \delta H/\delta Z)/\delta Z \qquad (1)$$

onde Θ é o conteúdo volumétrico de água e K é a condutividade capilar. A carga hidráulica para a profundidade Z é dada por $H = -\Psi_m + Z$, onde Ψ_m é o potencial matricial e Z, o potencial gravitacional.

A variação da água armazenada no perfil do solo é obtida pela integração da equação (1) na profundidade L quando se mantém t constante (Rose & Stern, 1967), obtendo-se:

$$dW/dt = -(K\ \delta H/\delta Z)_{Z=L} \qquad (2)$$

onde W é a água armazenada no perfil do solo até a profundidade $Z = L$ e o termo $(K\ \delta H/\delta Z)$ é a taxa de drenagem na profundidade $Z = L$. A equação (2) é a variação das componentes da equação do balanço hidrológico quando a precipitação (irrigação), escoamento superficial e evaporação são iguais a zero.

Black et alii (1969) mostraram que a taxa de drenagem em um perfil de solo uniforme de textura arenosa na profundidade L pode ser relacionada diretamente com a água armazenada no perfil L. Levando-se isso em consideração, a equação (2) pode ser assim representada:

$$dW/dt = -f(W)$$

e para computar a água armazenada no solo, esta equação pode ser escrita em forma finita:

$$\Delta W = -\Delta t\ f(\overline{W})$$

onde $\overline{W}$ é o valor médio da água armazenada durante o intervalo de tempo Δt.

Black et alii (1970) verificaram que em um solo arenoso, a função de drenagem f(W) pode ser aproximada por:

$$f(W) \simeq K(\Theta a)$$

onde $\Theta a = W/L$ é o valor médio do conteúdo da água através da profundidade L.

Da mesma forma, poder-se-ia representar a taxa de drenagem do perfil do solo em função da lâmina de água armazenada, a qual é discutida neste trabalho.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em área cultivada anualmente no Campo Experimental de Bebedouro do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido/EMBRAPA, em Petrolina (PE), no período de agosto a setembro de 1976.

O clima da região, segundo Hargreaves (1974), é classificado como muito árido. A temperatura durante o ano oscila entre 23 e 28°C. Os meses mais quentes são outubro e novembro e os mais frios, junho e julho. A precipitação média anual é 400mm (Hargreaves, 1973), com umidade relativa média de 67,8% e evaporação média anual de 1.300 a 2.000mm (FAO/PNUD, 1971). Os solos estudados foram classificados por Pereira & Souza (1968) como Latossolo Vermelho-Amarelo, arenoso (unidade 37 AA) e Latossolo Vermelho-Amarelo textura média (unidade 37 BB).

Para a determinação das propriedades hídricas e estudo de movimento da água no solo, foram selecionadas as unidades 37 AA e 37 BB, por serem mais representativas dos solos irrigáveis. Efetuou-se a abertura de perfis representativos para coleta de amostras de material de solo nas profundidades de 0-30, 30-60, 60-90, 90-120 e 120-150cm a fim de determinar as curvas de retenção de água.

As curvas de retenção de água foram determinadas nas amostras com estrutura alterada, em duplicata, segundo Richards (1965), usando-se extratores de placa de cerâmica para as tensões de 1/10, 1/3, 1, 2, 5, 10 e 15 bares.

Na determinação da condutividade capilar, usou-se o procedimento de campo, cujo método foi amplamente discutido por Rose et alii (1965), Davidson et alii (1969), Gardner (1970), e Hillel et alii (1972). Consistiu ele em delimitar uma parcela 5m x 5m e instalação no centro da parcela de tensiômetros às profundidades de 15, 45, 75, 105 e 135cm. Três tubos de acesso foram colocados próximos aos tensiômetros até à profundidade de 180cm, para determinações de umidade, nas camadas de 0-30, 30-60, 60-90, 90-120 e 120-150cm, usando uma sonda de nêutrons Troxler modelo 1257 SN 445, com medidor portátil (Stewart & Taylor, 1957, e Barrada, 1965). Aplicou-se água à parcela até completa saturação do perfil e, cessada a infiltração, cobriu-se a superfície com plástico e solo para impedir a evaporação. Durante a redistribuição de água no perfil, mediram-se as cargas hidráulicas, mediante tensiômetros, e o conteúdo volumétrico de água nas diferentes camadas do perfil. Usando esses dados, determinaram-ses os gradientes hidráulicos médios e a densidade de fluxo para curtos intervalos de tempo em função da umidade correspondente. Aplicando-se diretamente a equação de Darcy, determinou-se a condutividade capilar para cada camada.

Com os dados de condutividade capilar e dos gradientes hidráulicos nos perfis de solo, determinaram-se, ao longo do tempo, as taxas de drenagem e estabeleceram-se as seguintes relações: taxa de drenagem versus conteúdo de água nas camadas entre os tensiômetros, taxa de drenagem versus lâmina de água armazenada nas camadas de 0-30, 0-60, 0-90 e 0-120cm, e taxa de drenagem versus tempo, compreendido desde o término da infiltração da lâmina de água aplicada para saturação do perfil até o sexto dia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas unidades de solos 37 AA e 37 BB, as curvas de retenção se apresentam semelhantes, com maiores variações nos conteúdos de água entre as tensões de 1/10 e 2 bares (Figura 1). Constata-se que ambas as unidades apresentam baixo poder de retenção de água. No entanto, a 37 BB apresenta maior retenção em relação à 37 AA, principalmente devido à textura. A 37 AA é arenosa na superfície e franco-argilo-arenosa a partir de 80cm e, a 37 BB, é arenosa na superfície e franco-argilo-arenosa a partir de 50cm (Pereira & Souza, 1968).

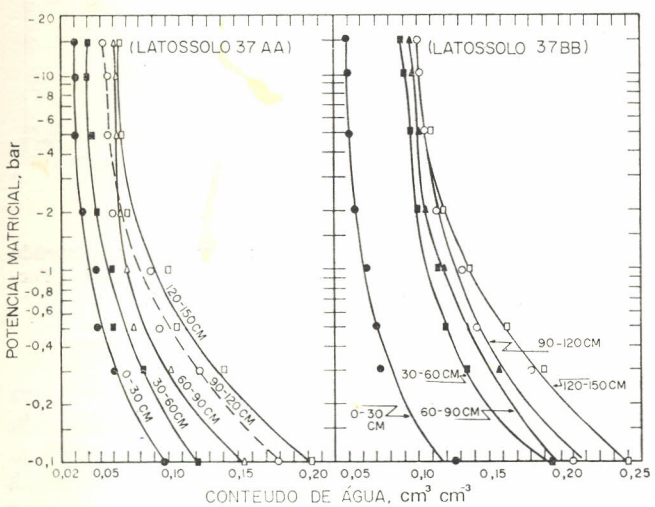

Figura 1. Curvas de retenção de água de Latossolo Vermelho-Amarelo, unidades 37AA e 37BB.

No solo 37 AA, a condutividade capilar na camada 15-45cm é maior que nas camadas 45-75 e 105-135cm (Figura 2 e Quadro 1). Comparando os valores da camada 15-45cm com a 75-105cm, verifica-se que a condutividade capilar é maior nesta última, para valores de umidade superior a 0,175cm³ cm⁻³. Sendo a condutividade capilar influenciada pela textura, estrutura e uniformidade na geometria dos poros (Nielsen et alii, 1973), os valores mais altos verificados nas camadas superiores podem ser devidos a uma melhor distribuição de poros, proporcionada pelo preparo do solo por ocasião do plantio das culturas. As características transmissoras da unidade 37 BB são bem diferentes, principalmente quando se comparam as camadas superiores com as mais profundas (Figura 2 e Quadro 1). A condutividade capilar das camadas 75-105cm e 105-135cm é superior à das camadas 15-45cm e 45-75cm, sendo que estas últimas apresentam comportamento quase semelhante com relação ao movimento de água. Analisando as retas da figura 2, verifica-se que nestes solos poder-se-ia usar uma relação entre a condutividade capilar e o conteúdo de água para a camada 0-75cm e para a camada 75-165cm.

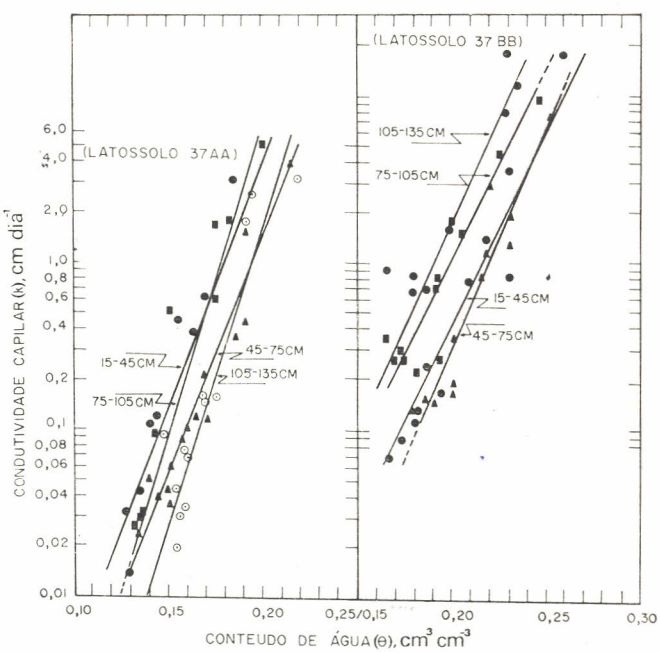

Figura 2. Condutividade capilar em função do conteúdo de água para diferentes camadas do perfil de Latossolo Vermelho-Amarelo, unidades 37AA e 37BB.

Quadro 1. Equações das condutividades capilares da água de Latossolo Vermelho-Amarelo, unidades 37AA e 37BB

Camada	Equações de condutividade capilar cm. dia⁻¹		
cm	Latossolo Vermelho-Amarelo, hor. A arenoso — 37AA		
105 — 135	$K(\theta) = 5{,}56 \times 10^{-6}$	$\exp(67{,}53\theta)$	$r^2 = 0{,}94^{**}$
15 — 45	$K(\theta) = 5{,}22 \times 10^{-6}$	$\exp(61{,}50\theta)$	$r^2 = 0{,}93^{**}$
45 — 75	$K(\theta) = 1{,}97 \times 10^{-7}$	$\exp(86{,}47\theta)$	$r^2 = 0{,}94^{**}$
75 — 105	$K(\theta) = 7{,}99 \times 10^{-8}$	$\exp(86{,}47\theta)$	$r^2 = 0{,}91^{**}$
	Latossolo Vermelho-Amarelo text. média — 37BB		
105 — 135	$K(\theta) = 1{,}08 \times 10^{-5}$	$\exp(52{,}96\theta)$	$r^2 = 0{,}93^{**}$
15 — 45	$K(\theta) = 2{,}32 \times 10^{-6}$	$\exp(58{,}83\theta)$	$r^2 = 0{,}95^{**}$
45 — 75	$K(\theta) = 7{,}85 \times 10^{-5}$	$\exp(47{,}23\theta)$	$r^2 = 0{,}88^{**}$
75 — 105	$K(\theta) = 1{,}34 \times 10^{-5}$	$\exp(48{,}58\theta)$	$r^2 = 0{,}89^{**}$

Na figura 3, analisando os dados das taxas de drenagem em função do tempo para a unidade 37 AA, verifica-se que, nos três primeiros dias após a aplicação de água, as taxas de drenagem decrescem de 9,0 para 0,066, de 3,8 para 0,19, de 3,0 para 0,10 e de 0,9 para 0,060cm dia^{-1}, para as profundidades de 30, 60, 90 e 120cm respectivamente. Na unidade 37 BB, as taxas de drenagem decrescem de 10,0 para 0,36, de 8,0 para 0,38 e de 11,0 para 0,44cm dia^{-1} para as profundidades de 30, 60 e 90cm respectivamente.

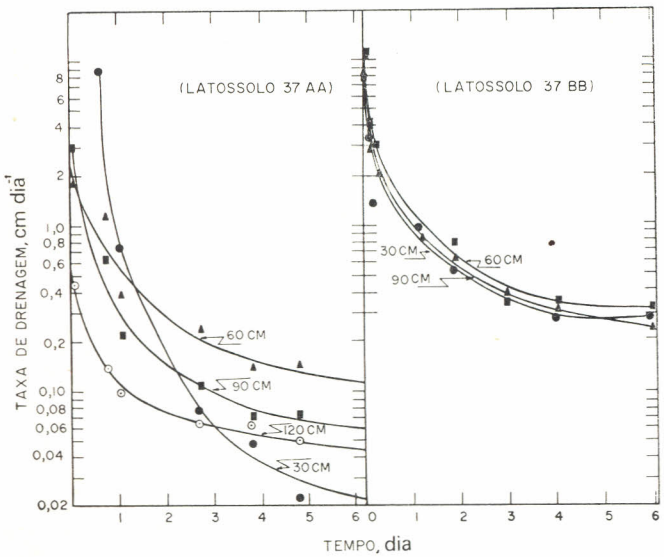

Figura 3. Taxa de drenagem em função do tempo para diferentes profundidades de Latossolo Vermelho-Amarelo, unidades 37AA e 37BB.

Desses dados, deduz-se a importância do potencial gravitacional nas propriedades de retenção de água nesses solos, principalmente nos três primeiros dias após uma irrigação, pois do quarto ao sexto dia as variações de drenagem são acentuadamente reduzidas. Isso se verifica em solos arenosos, uma vez que a condutividade capilar decresce rapidamente com a redução do conteúdo de água no solo e conseqüente redução na taxa de drenagem, como se pode ver através da relação entre taxa de drenagem e conteúdo de água da figura 4 e quadro 2 para as unidades 37 AA e 37 BB.

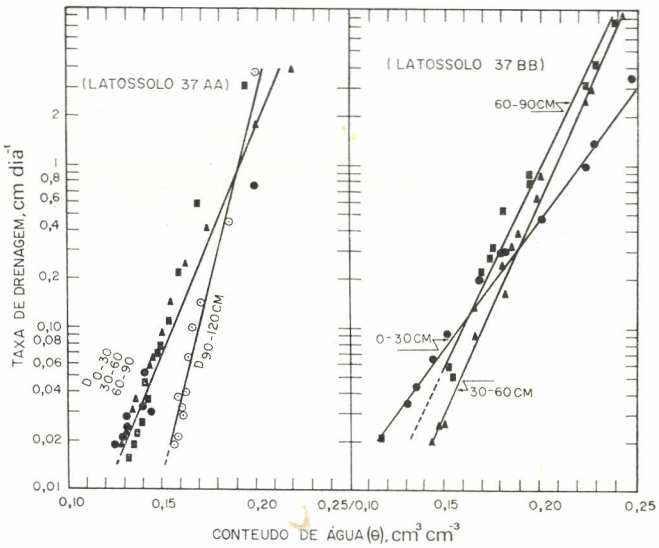

Figura 4. Taxa de drenagem em função do conteúdo de água em diferentes camadas de Latossolo Vermelho-Amarelo, unidades 37AA e 37BB.

A figura 5 ilustra a taxa de drenagem no perfil do solo em função da água armazenada para as camadas de 0-30, 0-60, 0,90 e 0-120cm das unidades 37 AA e 37 BB. Observa-se que as curvas das diferentes camadas são praticamente paralelas, o que demonstra a uniformidade do perfil de solo, especialmente na unidade 37 AA, e que os solos arenosos drenam em forma contínua e uniforme através de todo o perfil.

A relação entre taxa de drenagem e lâmina de água armazenada no perfil é de utilidade em balanços hídricos, especialmente no caso de solos de perfil uniforme, para definir a componente de drenagem, baseando-se na informação da água armazenada.

Normalmente, considera-se que a capacidade de armazenamento de água no solo é uma característica estática: a partir daí, têm-se definido os limites de aproveitamento de água pelas plan-

Quadro 2. Equações das taxas de drenagem da água de Latossolo Vermelho-Amarelo, unidades 37AA e 37BB

Camada	Equações da taxa de drenagem	
cm	cm. dia^{-1}	
	Latossolo Vermelho-Amarelo text. arenosa — 37AA	
0 — 90	$D(\theta) = 4{,}74 \times 10^{-6}$ exp ($63{,}85\theta$)	$r^2 = 0{,}92^{**}$
90 — 120	$D(\theta) = 1{,}71 \times 10^{-9}$ exp ($105{,}65\theta$)	$r^2 = 0{,}98^{**}$
	Latossolo Vermelho-Amarelo text. média — 37BB	
0 — 30	$D(\theta) = 3{,}25 \times 10^{-4}$ exp ($36{,}18\theta$)	$r^2 = 0{,}99^{**}$
30 — 60	$D(\theta) = 3{,}32 \times 10^{-6}$ exp ($60{,}37\theta$)	$r^2 = 0{,}99^{**}$
60 — 90	$D(\theta) = 1{,}91 \times 10^{-5}$ exp ($54{,}15\theta$)	$r^2 = 0{,}93^{**}$

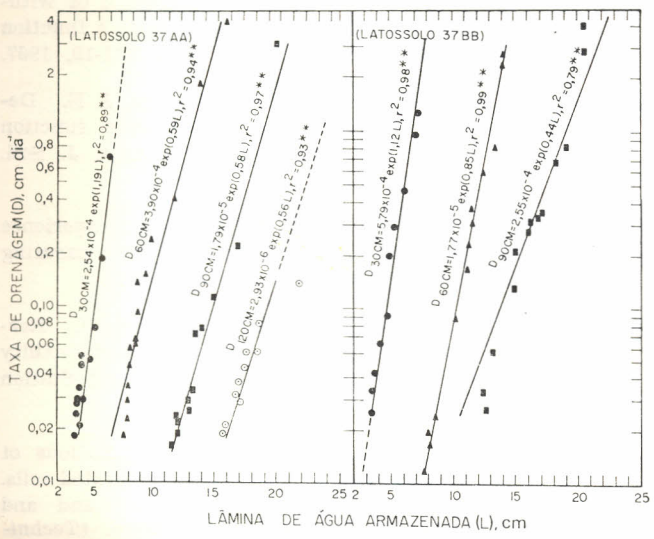

Figura 5. Taxa de drenagem em função da lâmina de água armazenada em diferentes camadas de Latossolo Vermelho-Amarelo, unidades 37AA e 37BB.

tas. Em balanços hídricos, a componente de drenagem é geralmente desprezada, de maneira que não haveria movimento de água quando o conteúdo de água no solo fosse inferior à capacidade de campo. O erro provém de considerar o solo como estático, na sua condição de capacidade de campo, quando, na realidade, a água continua a movimentar-se a taxas mais baixas, como indica a figura 3, com relativa importância no balanço de água, não podendo, portanto, ser desprezada sem uma comprovação experimental.

Existem antecedentes na literatura indicando que a componente de drenagem pode chegar a representar 50-60% da água aplicada num ciclo da cultura (LaRue et alii, 1968; Millar, 1970; Pereira et alii, 1974, e Reichardt et alii, 1974).

CONCLUSÕES

A lâmina de água retida entre as tensões de 0,1 e 15 bares aumentou com a profundidade nos dois latossolos, sendo de 1,1mm/cm na camada 0-30cm e 2,07 a 2,43mm/cm na camada 120-150cm nas unidades 37 AA e 37 BB respectivamente.

A drenagem interna dos latossolos das unidades 37 AA e 37 BB é uniforme e contínua através de todo o perfil do solo.

A relação entre taxa de drenagem e água armazenada no solo pode ser utilizada na definição da componente de drenagem nos balanços hídricos.

LITERATURA CITADA

BARRADA, Y. Application of the neutron moisture meter. In: SIMPOSIUM ON THE USE OF ISOTOPES AND RADIATON TECHNIQUES IN SOIL PLANT NUTRITION STUDIES. Ankara, 28/6 — 2/7/1965. Proceedings, Viena, International Atomic Energy Agency, 1965.

BLACK, T. A.; GARDNER, W. R.; THURTELL, G. M. The prediction of evaporation, drainage, and soil water storage for a bare soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33:655-660, 1969.

BLACK, T. A.; GARDNER, W. R.; TANNER, C. B. Water storage and drainage under a row crop on a sandy soil. Agron. J. 62:48-51, 1970.

CHOUDHURY, E. N.; MILLAR, A. A.; CHOUDHURY, M. M.; ABREU, T. A. S. Efeito de diferentes níveis de irrigação na produção de tomate industrial. Pesq. agropec. bras., 15:475-480, 1980.

CRIDDLE, W. D. & KALISVAART, C. Subirrigation systems. In: HAGAN, R. M. et alii, ed. Irrigation of agricultural lands. American Society of Agronomy, 1967. p. 905-921. (Agronomy Series 11)

DAVIDSON, J. M.; STONE, L. R.; NIELSEN, D. R.; LARUE, M. E. Field measurement and uses of soil-water properties. Water Resour. Res. 5:1312-1321, 1969.

FAO. Irrigation, drainage and salinity. London, Hutchinson Company, 1973. 360 p.

FAO/PNUD. Estudios de irrigación e ingenieria. Estudios de la Cuenca del Rio São Francisco. Roma, FAO/PNUD, 1971. 301p.

GARDNER, W. R. Dynamic aspects of water availability to plants. Soil Sci., 89:63-73, 1960.

GARDNER, W. R. Movement of nitrogen in soil. In: BARTHOLOMEW, W. V. & CLARK, F. E. eds. Soil Nitrogen. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p. 550-572.

GARDNER, W. R. Field measurement of soil water diffusivity. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 34:832-833, 1970.

HARGREAVES, G. H. Climatic zoning for agricultural production in Northeast Brazil. Logan, Utah State University, 1974. 6f. (Mimeografado)

HARGREAVES, G. H. Monthly precipitation probabilities for Northeast Brazil. Logan, Utah State University, 1973. 423p.

HILLEL, D.; KRENTOS, V. D.; STYLIANOU, Y. Procedure and test of an internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics in situ. Soil Sci., 114:395-400, 1972.

LARUE, M. E.; NIELSEN, D. R.; HAGAN, R. M. Soil water flux below a ryegrass root zone. Agron. J., 60:625-629, 1968.

MILLAR, A. A. Condutividade capilar de un suelo derivado de cenizas volcánicas. Turrialba 25:448-449, 1975.

MILLAR, A. A. Respuesta de los cultivos al déficit de agua como información basica para el manejo del riego. Brasília, CODEVASF/FAO/USAID/ABID, 1976. 62 p. (Conferência apresentada no Seminário sobre Manejo de Água, Brasília, Maio 3-5, 1976).

MILLAR, A. A. Internal water status and water transport in seed onion plants. Tese de Doutoramento. Madison, University of Wisconsin, 1970.

NIELSEN, D. R. & BIGGAR, J. W. Analysing soil water and solute movement under field conditions. Soil Moisture and Irrigation Studies (FAO/IAEA) II: 111-127, 1973.

NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W.; ERB, K. T. Spatial variability of field measured soil-water properties. Hilgardia, 42:215-259, 1973.

PEREIRA, A. R.; BARROS FERRAZ, E. S.; REICHARDT, K.; LIBARDI, P. L. Estimativa da evapotranspiração e da drenagem profunda em cafezais cultivados em solos Podzolizados de Lins e Marília. Piracicaba, USP-CENA, 1974. (Boletim Científico BC-014)

PEREIRA, J. M. de A. & SOUZA, R. A. de Mapeamento detalhado da área da Barra de Bebedouro. Petrolina, PE, SUDENE, 1968. 57 f. (Mimeografado)

REICHARDT, K. Determinação da condutividade hidráulica em condições de campo para estimativa da drenagem profunda em balanços hídricos. Piracicaba, USP-CENA, 1974. 12p. (Boletim didático, BD-015)

RICHARDS, L. A. Physical condition of water in soil. In: BLACK, C. A., ed. Method of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison, American Society of Agronomy, 1965. 770p.

RIJTEMA, P. E. An analysis of actual evapotranspiration. Wageningen, Netherlands, Institute for Land and Water Management Research, 1965. 107 p. (Agricultural Research Report 659)

ROSE, C. M. & STERN, W. R. Determination of withdrawal of water from soil by crop roots as a function of depth and time. Aust. J. Soil Res. 5:11-19, 1967.

ROSE, C. M.; STERN, W. R.; DRUMMOND, J. E. Determination of hydraulic condutivity as a function of depth and water content in situ. Aust. J. Soil. Res. 3:1-9, 1965.

STEWART, G. L. & TAYLOR, S. A. Field experience with the neutron scattering method of measuring soil moisture. Soil Sci., 83:151-158, 1957.

VITTUM, M. T.; TAPLEY, W. T.; PECK, N. H. Response of tomato varieties to irrigation and fertility level. New York, Agricultural Experimental Station (Geneva), 1958. Bulletin 782)

WIND, G. P. Capillary rise and some applications of the theory of moisture movement in unsaturated soils. Wageningen, Netherlands, Institute for Land and Water Management Research, 1961. 20 p. (Technical Bulletin 22)