

EXTRAÇÃO DE ÁGUA PELO MILHO EM LATOSSOLO DA REGIÃO DOS CERRADOS¹

WALDO ESPINOZA²

RESUMO - Foi conduzido um estudo com cultura de milho (*Zea mays* L.), numa área de Latossolo Vermelho-Escuro, em época seca, visando a estabelecer os principais efeitos da densidade de plantio sobre as características da extração de água. Os resultados indicam que, em todas as camadas comparadas, as densidades mais elevadas, até 80.000 plantas/ha, extraíram, em geral, mais água que a densidade de 20.000 plantas/ha, o que se explica pela maior densidade radicular. A maior parte da água extraída, em ambos os casos, originou-se na camada de 0 - 20 cm. Os fluxos ascendentes e descendentes de água podem ser considerados de pouca importância ($0,33 - 0,66 \text{ mm/dia}^{-1}$), uma vez que a condutividade hidráulica dos solos de cerrado diminui drasticamente o conteúdo de umidade. Nos primeiros estágios das culturas, a extração de água foi fundamentalmente superficial, correspondendo a até 80%, na camada de 0 - 20 cm. O esgotamento da água na camada de 0 - 60 cm (85 - 90% da água disponível), na época de maior desenvolvimento vegetativo, produzir-se-ia aos oito e treze dias para as densidades de 80.000 e 20.000 plantas/ha, respectivamente, indicando que o fator de densidade de plantio no manejo da cultura pode ser um importante instrumento na mitigação da seca, principalmente durante os períodos de verão.

Termos para indexação: desenvolvimento radicular, solo-movimento da água, curvas de retenção, densidade de plantio, condutividade hidráulica, evapotranspiração, absorção.

RATES AND PATTERNS OF WATER FROM AN OXISOL OF THE "CERRADOS" OF BRAZIL BY CORN CROP

ABSTRACT - A study was carried out under irrigation, during the dry season of 1977, on water uptake characteristics of corn (*Zea mays* L.) (cv. C-111 X) in an oxisol (LVE) of the Cerrado region. Rates of corn water uptake in different soil layers were determined by considering soil sample weight differences and upward or downward fluxes at different time intervals. It was observed that, in general, high population densities up to 80.000 pl/ha withdrew more soil water than the 20.000 pl/ha densities which is attributed to the higher root density shown by higher plant populations. Most of soil water was extracted from the 0 - 20 cm soil layer (40 - 45%). Average upward or downward water fluxes throughout the experiment can be considered of small importance ($0.33 - 0.66 \text{ mm/day}^{-1}$), which is explained by the drastic decrease in hydraulic conductivity as soil water content diminishes. Soil water depletion in the 0 - 60 cm soil layer (containing 85 - 90% of available water) would occur after eight to thirteen days for population of 80,000 and 20,000 pl/ha, respectively, showing that the manipulation of plant density can be an important management tool to mitigate drought in the Cerrados.

Index terms: root development, soil water movement, retention curves, plant density, water conductivity, evapotranspiration, water absorption.

INTRODUÇÃO

O processo de transporte de água no sistema solo-planta-atmosfera é um fenômeno dinâmico. A compreensão da absorção de água pelas raízes e o balanço de água na zona radicular requerem conhecimento das propriedades de retenção de água do solo e suas propriedades condutoras, como também, da densidade das raízes. As características de desenvolvimento radicular (expansão horizontal e vertical, densidade radicular e efetividade radicu-

lar) e as propriedades hidráulicas dos solos (curva de tensão e condutividade hidráulica em meio não saturado) são os principais fatores solo-planta que controlam a extração de água do solo.

No caso de plantas amadurecidas, com sistemas radiculares ocupando um volume de solo aproximadamente constante, as mudanças na absorção de água em profundidade e tempo são devidas a diferenças na densidade radicular, a atividade das raízes e a mudanças nas características hidráulicas do solo em espaço e tempo. No caso de plantas jovens, com um sistema radicular rapidamente em expansão, o crescimento radicular chega a ser um fator adicional importante para determinar a disponibilidade e a absorção de água pelas plantas.

¹ Aceito para publicação em 19 de novembro de 1979.
² Eng^o Agr^o, Ph.D., Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC) - EMBRAPA, Caixa Postal 70.0023, CEP 73.300 - Planaltina, DF.

Tanto o conteúdo de água do solo como os perfis de potencial de água no solo são requeridos para os cálculos dos padrões de extração de água na zona das raízes. Rose & Stern (1967) mediram o conteúdo da água do solo sob condições de campo, e calcularam o potencial de água no solo, a partir de curvas de tensão. Stone et al. (1973) e Arya et al. (1975) usaram tensiômetros para medir o potencial de água no solo e determinaram os conteúdos de água dos perfis de solo, a partir de curvas de retenção. Van Bavel et al. (1968), Rice (1975), Allmaras et al. (1975) e Reichardt et al. (1978) fizeram medições *in situ* do conteúdo de água do solo, com o medidor de nêutrons e do potencial de água no solo, com tensiômetros. Rose & Stern (1967) indicaram que um método indireto para determinar a extração de água pelas raízes tem sido através do equacionamento da extração de água pelas raízes, num volume dado de solo, com a diminuição de água armazenada nesse volume. Contudo, isto somente é correto se não existir um fluxo líquido de água nesse volume que não seja aquele derivado da atividade radicular. Eles demonstraram que a extração de água de qualquer profundidade no perfil de solo pode ser calculada em função do tempo, usando-se uma equação derivada do balanço hídrico e de considerações da magnitude e direção de fluxo de água, sendo que a mudança no armazenamento de água, ΔW , está dada por:

$$\Delta W = \int_0^{z_2} \int_{t_1}^{t_2} (\partial \theta / \partial t) dz dt \quad (1)$$

onde: θ é o conteúdo de água ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) nos tempos t_1 e t_2 , entre a superfície do solo ($z = 0$) e a profundidade z . O fluxo vertical de água no solo, v_z , na profundidade z (mm/dia), é obtido da relação:

$$v_z = k_z + k_z (\partial h / \partial z) \text{ (mm/dia)} \quad (2)$$

onde: k_z é a condutividade hidráulica do solo, na direção vertical na profundidade z (mm/dia) e h é a tensão de água no solo (cm), definido como positivo em solos não saturados.

A taxa de extração de água por dia, r_z , incluindo extração pelas raízes e a evaporação, está dada por:

$$r_z = (\partial \theta / \partial t) - (\partial v / \partial z) \quad (3)$$

onde: $(\partial \theta / \partial t)$ é a mudança no conteúdo de água ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), com relação ao tempo (dias); e

$(\partial v / \partial z)$ é a mudança no fluxo de água (mm/dia^{-1}), com relação à profundidade (cm). É inútil definir a extração de água acumulada, R_z , dada por:

$$R_z = \int_0^z r_z dz, \quad (4)$$

de tal forma que R_z é a taxa com que a água tem sido extraída pelas raízes, desde a superfície do solo até a profundidade z .

As pesquisas relativas à extração de água pelas raízes das culturas têm sido conduzidas com diversos propósitos.

Herkelrath et al. (1977) estudaram a extração de água pelas raízes de trigo, em relação ao potencial de água no solo, e explicaram os resultados, em função da resistência relativa ao fluxo de água no solo e na planta. Eles indicaram que a água se movimenta em resposta a gradientes de potencial entre solo-planta-folha e atmosfera, e que seu maior objetivo tem sido determinar se a resistência dominante ao fluxo de água está no solo ou na planta. Gardner (1964) concluiu que a resistência do solo deveria ser pequena na faixa de até -15 bares, mas outros autores encontraram que o valor anterior é de somente -0,6 bar. Taylor & Klepper (1975) sugeriram que a maior resistência ao fluxo estava situada na raiz da planta ou na interfase solo-raiz.

Reicosky & Ritchie (1976) têm indicado que a significância da resistência ao fluxo de água tem sido freqüentemente ignorada nos cálculos de absorção de água pelas raízes. A localização da resistência ao fluxo de água dentro do sistema vascular não está bem entendida. Kramer, citado pelos autores mencionados, mostrou que as raízes eram a principal fonte de resistência e, de acordo com Newman (1972), esta estaria localizada na barreira de Casper, na endoderme da raiz.

Este fator de resistência tem bastante importância quanto à resistência das plantas à seca, sendo que aquelas culturas que apresentam maior resistência ao fluxo de água parecem resistir melhor aos déficits hídricos.

Na região dos cerrados, onde a agricultura de sequeiro está normalmente afetada por períodos de seca de comprimento variável, o estudo da extração de água pelas raízes pode servir para determinar as profundidades da extração de água, sua magnitude é, ao mesmo tempo, avaliar o efeito de

práticas de manejo de planta, como densidade de plantio sobre as características da extração e o efeito de diferentes culturas sobre esse fenômeno.

Espinoza et al. (1979) encontraram que, no caso do milho, as menores reduções em rendimento, devido aos veranicos, foram obtidas com as menores densidades de plantio. Em outro estudo, Espinoza (1979) indicou que o fenômeno mencionado poderia ser explicado pela menor evapotranspiração relativa, observada nas menores densidades de plantio.

Apresentam-se os resultados de extração de água do solo, por diversas densidades populacionais de milho (c.v. C-111X), com o objetivo de mostrar a dinâmica de extração da água e contribuir com a explicação dos resultados já mencionados, principalmente no que se refere a manejo da cultura em relação ao déficit hídrico.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC) - EMBRAPA, Planaltina, DF, durante a época seca de 1977, num solo Latossolo Vermelho-Escuro (LVE) (EMBRAPA 1978). A cultura de milho, empregada no estudo, foi o híbrido C-111 X, plantado dia 9 de maio de 1977, com emergência dia 23 de maio, e colhido em 10 de outubro. Foram testadas quatro densidades de plantio 20.000, 40.000, 60.000 e 80.000 plantas/ha. As parcelas experimentais de 40 m² foram irrigadas cada vez que a tensão de água nos primeiros 30 cm do solo atingiu 0,7 - 0,8 bar. Houve somente dois dias com chuva, 27 de agosto (6,6 mm) e 5 de setembro (1,8 mm).

Em cada parcela, foram colocados três jogos de tensiômetros do tipo manômetro de mercúrio, nas seguintes profundidades: 15, 30, 45, 60 e 90 cm. Os dados destes tensiômetros junto com as curvas de retenção de água dos solos (Wolf 1975) foram usados para avaliar o estado da água nos solos. O potencial total de água no solo $\psi = \zeta + z$, o que representa a soma do potencial matricial (ζ) e a elevação (z) medida negativamente em profundidade. As distribuições das tensões de água no perfil do solo foram obtidas diariamente com o uso dos tensiômetros. O conteúdo de água (θ) nos perfis de solo foram obtidos empregando-se os dados de tensão de água no solo e a curva de tensão da umidade. A condutividade hidráulica (k), em função do conteúdo de água do solo, foi a determinada por Wolf (1975) numa área próxima ao experimento. Os fluxos diários até a profundidade de 90 cm foram determinados usando-se os valores de condutividade hidráulica, os conteúdos de água do solo e a lei de Darcy, de acordo com Rose & Stern (1967) e Reichardt (1975). O esgotamento total da água do solo foi obtido pela diferença integrada entre conteúdos de água consecutivos no perfil do

solo. A evaporação do solo não foi estimada.

A extração de água por dia (r_z) está dada por Stone et al. (1973) e Nnyamah & Black (1977), sendo:

$$r_z = (\partial\theta/\partial t) - (\partial v/\partial z) \quad (5)$$

onde: $\partial\theta/\partial t$ foi obtida graficamente pela determinação da área entre perfis sucessivos de conteúdo de água (θ) nos tempos t_1 e t_2 , e $\partial v/\partial z$ foi obtida através da apresentação gráfica dos fluxos de água (v) para cada intervalo de solo, versus profundidade (z).

Foram tiradas as médias dos valores de $\partial\theta/\partial t$ e v_z entre perfis sucessivos, dentro de cada período de irrigação, para se obter valores médios de extração e de fluxo de água.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas da Fig. 1, relativas à variação dos conteúdos de umidade (cm³ cm⁻³) do solo, em função da densidade de plantio, durante dois períodos de desenvolvimento da cultura de milho, mostram que, em geral, as maiores mudanças no conteúdo de umidade do solo são produzidas nas primeiras profundidades do solo. Isto indica que a maior densidade de raízes nos dois tratamentos D_1 e D_4 encontram-se nessas camadas. No período 1 de desenvolvimento das culturas, as diferenças entre os tratamentos aparecem, principalmente, na primeira profundidade, sendo que no caso da densidade menor D_1 , as perdas de água, desde a primeira profundidade, foram superiores ao caso da densidade D_4 . Isto pode ser explicado com base no fato de que, neste período (65 - 67 dias após a emergência), a cobertura vegetal é incompleta, particularmente no caso da densidade D_1 , razão por que essas perdas são explicadas pela maior evaporação.

Posteriormente, no período 2, observa-se uma maior diminuição dos conteúdos de umidade do solo no tratamento D_4 (80.000 plantas/ha), em todas as profundidades, o que seria explicado em função da maior densidade de raízes neste último caso. Em geral, os conteúdos de umidade variam desde 0,30 cm³ cm⁻³ (30% base volume), um dia após a irrigação, até 0,21 - 0,22 cm³ cm⁻³ (21 - 22%), após quatro dias de irrigação, para a primeira profundidade. Na profundidade de 60 - 90 cm, os conteúdos de umidade são bem mais constantes e variam, em quase todos os casos, em torno de 0,275 cm³ cm⁻³. A natureza rá-

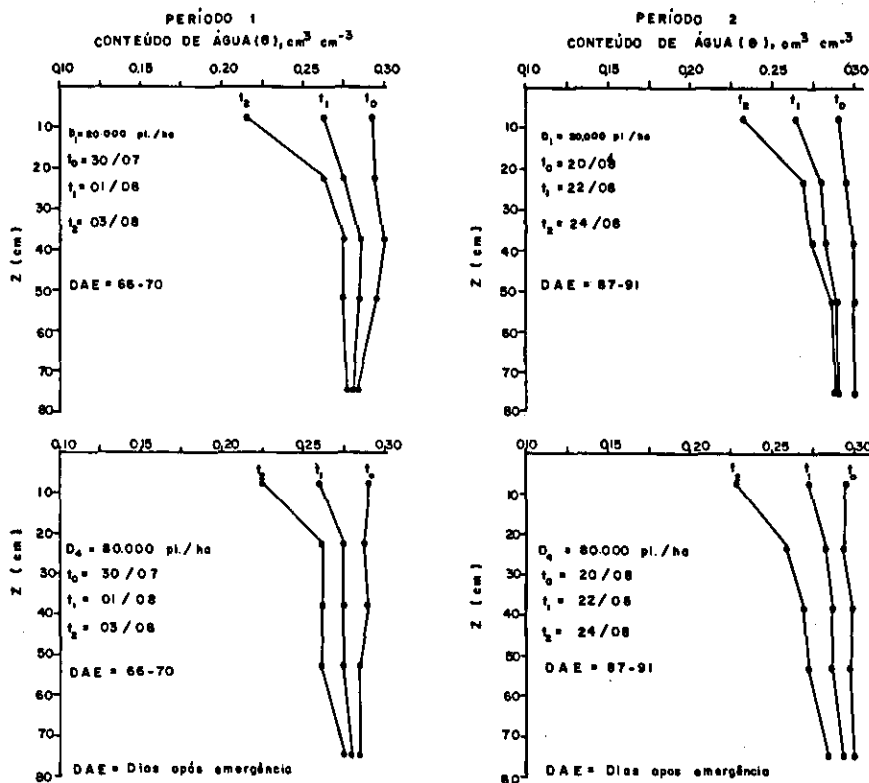


FIG. 1. Variação dos conteúdos de água do solo (θ), em função da profundidade (z) e densidade de plantio, em duas épocas, durante o desenvolvimento da cultura.

pida da mudança na umidade do solo concorda com a característica de retenção de água, similar aos solos de textura arenosa para os fins práticos de manejo da água.

Os potenciais totais de água (ψ) para as diferentes profundidades, e durante quatro períodos de desenvolvimento radicular, aparecem nas Fig. 2 e 3.

No início dos respectivos ciclos de seca do solo, os potenciais de água no solo são menores nas camadas inferiores, em comparação com as superiores, o que indica a presença de um fluxo vertical de drenagem interno, no sentido descendente. Esta situação se mantém nos períodos 1 e 2 de medição (Fig. 1), porque a atividade radicular, durante os estágios de crescimento desses períodos, fica restrita aos primeiros 45 cm do solo. Nos períodos 3 e 4, a situação é diferente, pois, em geral, os potenciais de água na superfície do solo são bem me-

nores que nas camadas profundas, indicando que, na maior parte dos casos, os fluxos de água têm lugar desde a parte inferior até a superior do solo. Nestes períodos verifica-se, também, que a maior parte da atividade radicular fica restrita às camadas de 45 cm, no caso da densidade D_1 , e até 60 - 75 cm, no caso da densidade D_4 . Em geral, logo depois dos seis dias de cada ciclo de molhamento-seca, observa-se que a parte superior do perfil do solo seca mais rapidamente devido à correspondentemente intensa atividade radicular. Contudo, a predominância dos fluxos verticais de água desde as camadas superficiais indica que as raízes de milho estavam removendo primeiro a água das camadas superficiais.

A condutividade hidráulica ($k(\theta)$) dos solos de cerrados diminui rapidamente o conteúdo de água dos solos, chegando a ser importante na faixa de umidade de 0,30 - 0,27 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ (Wolf 1975). No

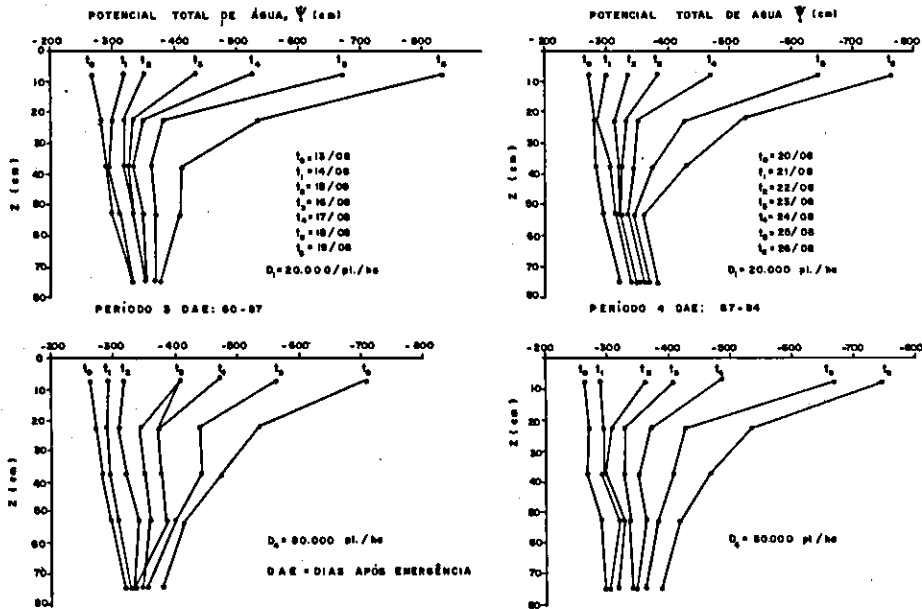


FIG. 2. Variação do potencial total de água no solo (ψ), em função da profundidade (z) e densidade de plantio, em dois períodos (1 e 2), durante o desenvolvimento da cultura.

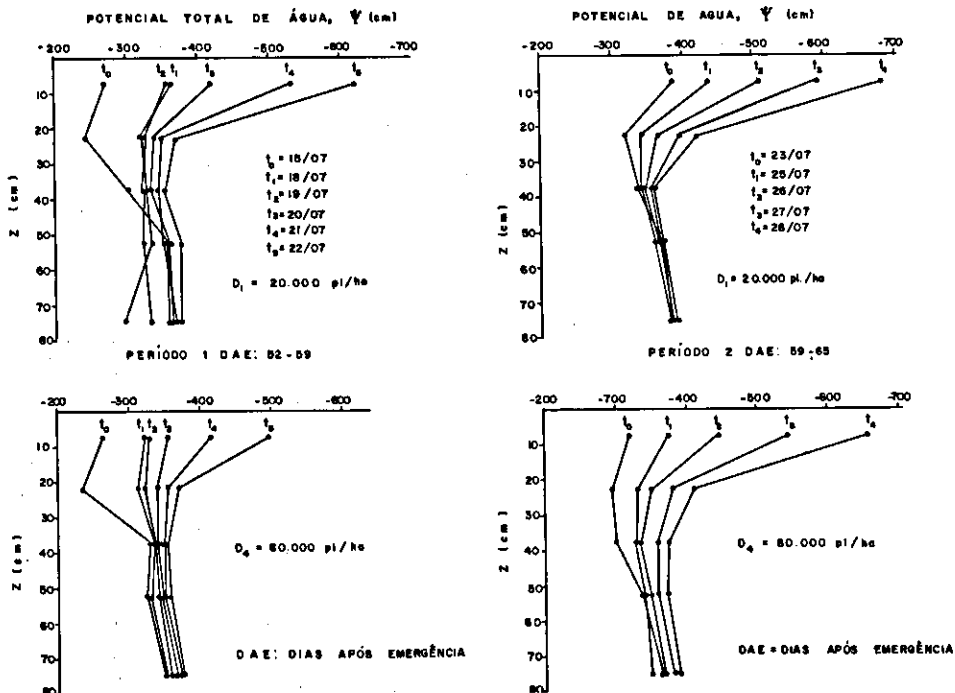


FIG. 3. Variação do potencial total de água no solo (ψ), em função da profundidade (z) e densidade de plantio, em dois períodos (3 e 4), durante o desenvolvimento da cultura.

período 2, por exemplo, os fluxos ascendentes na camada de solo de 75 - 90 cm e na de 15 - 30 cm foram de $0,63 \text{ mm/dia}^{-1}$ e de $0,33 \text{ mm/dia}^{-1}$, respectivamente, coincidindo com os resultados de Nnyamah & Black (1977), mas se apresentando bem inferiores aos valores registrados na zona radicular por Van Bavel (1968) que foram de até $4,00 \text{ mm/dia}^{-1}$, com sorgo em um solo argiloso, ou por Stone et al. (1973) que chegaram a $2,00 \text{ mm/dia}^{-1}$, com sorgo num solo franco silteoso, ou ainda por Allmaras et al. (1975) que atingiram a $8,0 \text{ mm/dia}^{-1}$, com soja e milho num solo areno-argiloso.

Quanto às taxas e características da extração de água pelas raízes da cultura, os resultados podem ser observados nas Fig. 4, 5 e 6. A Fig. 4 indica que durante os primeiros estágios de crescimento, i.e., até 52 - 59 dias de desenvolvimento das culturas, a extração de água acumulada foi aproximadamente similar. Entretanto, no período 80 - 87 dias após a emergência, aparece uma diferença apreciável na extração, a partir dos 15 cm de profundidade. Esta diferença é atribuída à densidade radicular nos tratamentos D_1 (20.000 plantas/ha) e D_4 (80.000 plantas/ha). Isto coincide com as conclusões de Gardner (1964), ao afirmar que a característica de absorção de água é sensível principalmente à distribuição relativa de raízes, pouco menos sensível às propriedades do solo, e relativamente pouco sensível à absorção total de água e ao comprimento total do sistema radicular.

Segundo Arya et al. (1975), a distribuição de densidade radicular pode se correlacionar com as características de absorção de água, sob condições onde a resistência do solo ao fluxo de água é dominante, o que aconteceria sob condições de ampla disponibilidade de água.

A Fig. 5 mostra a característica de extração de água pelas raízes de milho, indicando que as máximas diferenças em extração de água, entre as densidades de plantio, observam-se no período de 87 - 94 dias após a emergência, que coincide com os máximos valores de kc da cultura (Espinoza 1979).

Considerando que a época seca é bastante similar ao período de verânico, quanto às condições ambientais, pode-se afirmar que, sendo as elevadas densidades de plantio as que extraem mais água

desde as diferentes camadas do solo, e sendo o volume do solo explorado pelas raízes aproximadamente similar (Fig. 6) nos diversos tratamentos, as densidades mais elevadas de plantio esgotaram mais rapidamente a água do solo, começando a mostrar efeito do déficit hídrico mais cedo. As Fig. 3 e 5 indicam que, no período de 80 - 87 dias após a emergência, aproximadamente 90% da água é extraída nos primeiros 60 cm do perfil de solo. Considerando-se uma disponibilidade de água no solo LVE de 10%, isto significa que a densidade de 20.000 plantas/ha esgota a água entre treze e catorze dias, e a densidade de 80.000 plantas/ha esgota a água disponível entre oito e nove dias, o que coincide com pesquisas prévias realizadas na EMBRAPA - CPAC.

De acordo com Mantell (1973), em Israel, o desenvolvimento radicular do milho progride até a fase de embonecamento, momento em que a exploração radicular atinge uma profundidade de até 120 cm, e a extração de água é detectada até 180 cm de profundidade.

Na Tabela 1, observa-se uma comparação da extração de água relativa para as condições de Israel e Cerrados, respectivamente, na fase de máximo desenvolvimento vegetativo da cultura.

Pode-se observar, no caso do presente estudo (Cerrados), que a extração acumulada de água nos primeiros 40 cm de solo (71%) é equivalente à extração acumulada de água dos primeiros 90 cm (73%), que se observa em Israel. Se se confirma a afirmação de Kramer (1969), de que as plantas com sistemas radiculares profundos resistem melhor à seca do que as culturas com desenvolvimento radicular superficial, isto significa que as plantas de milho dos Cerrados sofreram mais intensamente de um período de déficit hídrico. Isto confirmaria as observações de que, uma das formas de atacar o problema dos verânicos, em áreas de cerrado, consiste em promover em profundidade o desenvolvimento radicular das culturas.

A Fig. 6 indica que, do ponto de vista da extração relativa de água, as densidades de plantio se comportaram similarmente, sugerindo que a distribuição das raízes é aproximadamente a mesma para as diferentes densidades, distinguindo-se, apenas, quanto à densidade de raízes nas diversas camadas. Isto determina, também, maiores fluxos

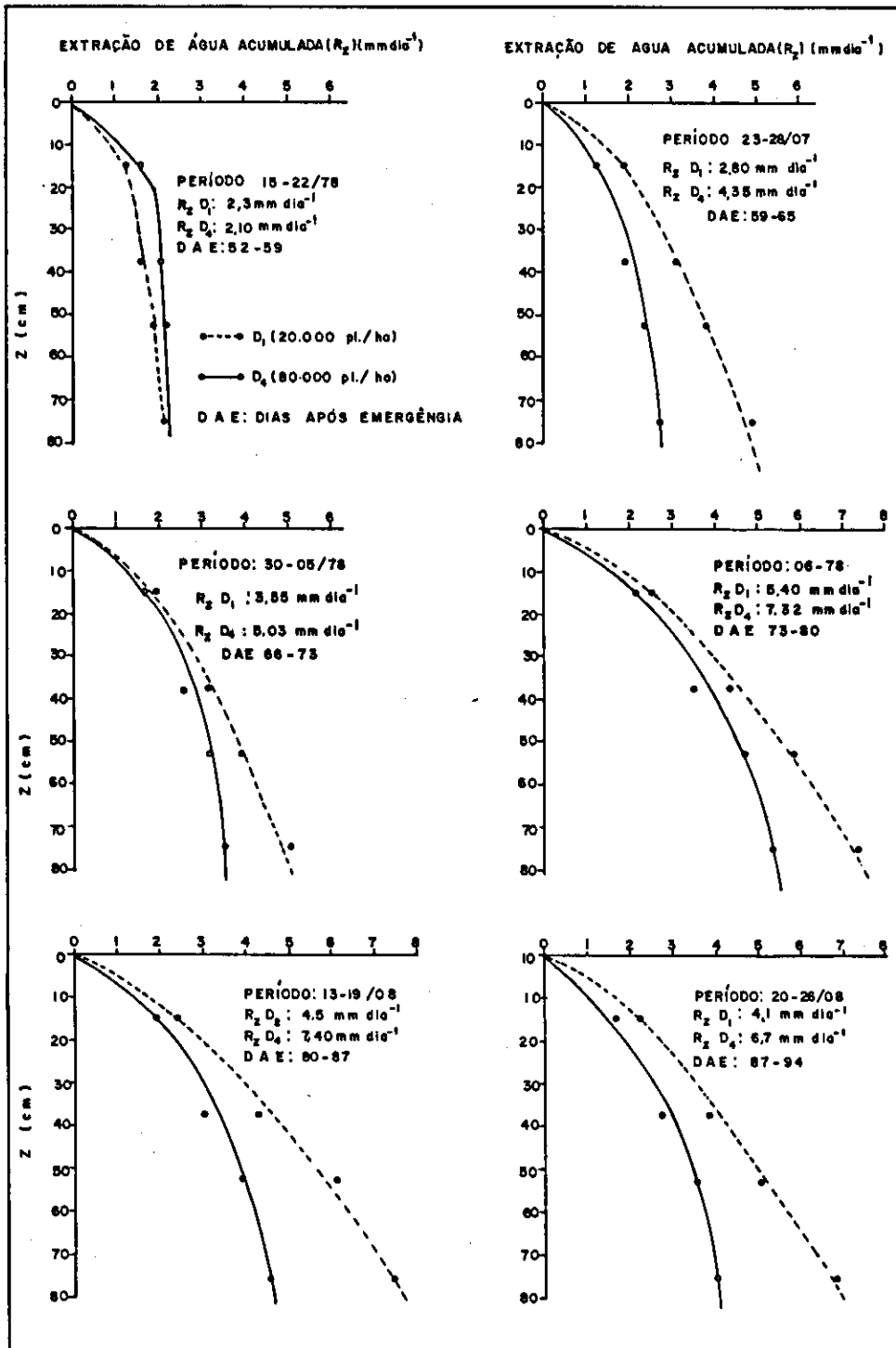


FIG. 4. Valores acumulados de extração de água (R_z), em função da profundidade (Z) e densidade de plantio, em diferentes períodos, durante o desenvolvimento da cultura.

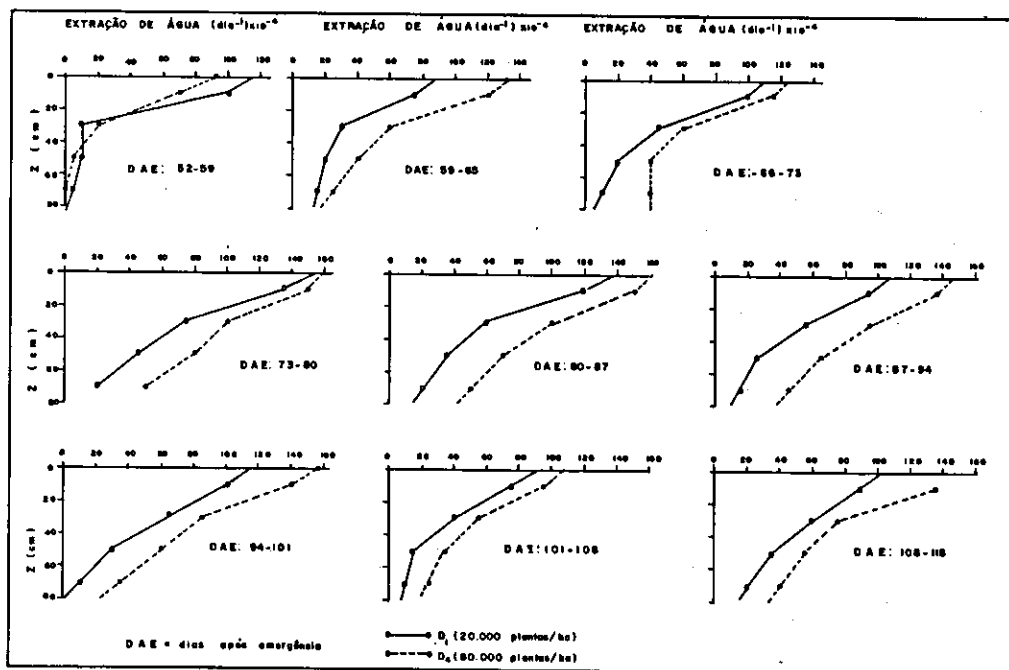


FIG. 5. Extração de água do solo, em função da profundidade e densidade de plantio, em diferentes períodos, durante o desenvolvimento da cultura.

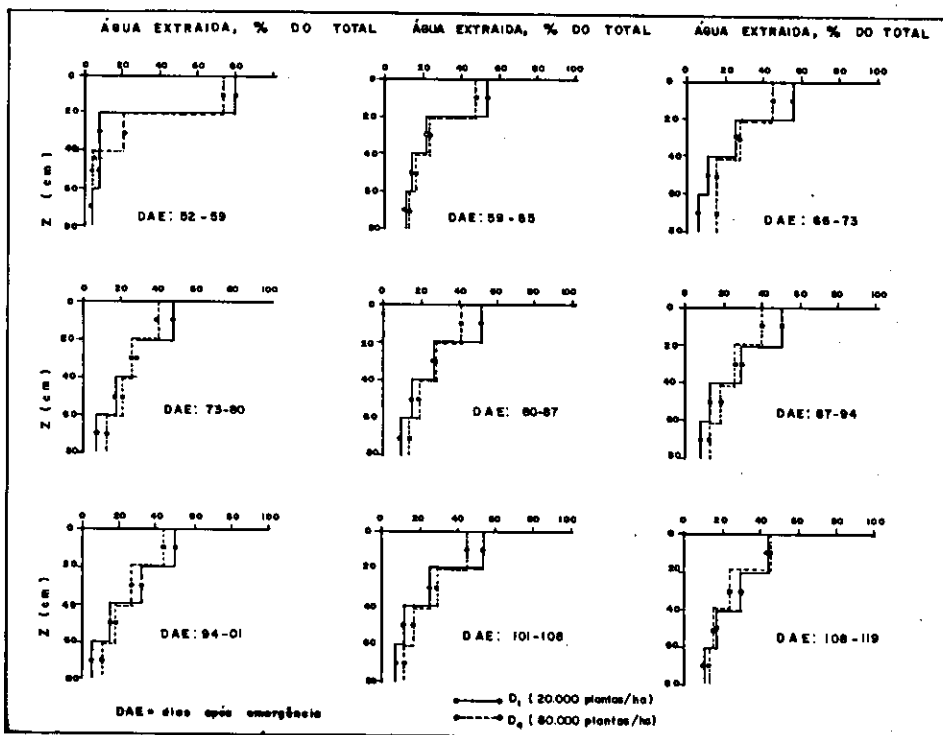


FIG. 6. Variação da água extraída (% do total), em função da profundidade e densidade de plantio, em diferentes períodos, durante o desenvolvimento da cultura.

TABELA 1. Extração relativa de água desde diferentes camadas de solo apresentadas pela cultura de milho sob condições semi-áridas, em Israel (Mantell 1973) e Brasil (Cerrados).

Israel			Cerrados		
Camada de solo (cm)	Extração relativa (% do total)	Extração acumulada (% do total)	Camada de solo (cm)	Extração relativa (% do total)	Extração acumulada (% do total)
0 - 30	31	31	0 - 20	43	43
30 - 60	24	55	20 - 40	26	71
60 - 90	18	73	40 - 60	19	88
90 - 120	15	88	60 - 80	12	100
120 - 150	8	96			
150 - 180	4	100			

verticais ascendentes, no caso das densidades elevadas de plantio. Por outro lado, à medida que a água do solo é esgotada, chegando a tensões de -0,8 bar, os solos de Cerrados apresentam baixíssima condutividade hidráulica ($3,68 \times 10^{-3}$ mm/dia⁻¹), podendo afetar grandemente a absorção de água. Taylor & Klepper (1975) têm indicado que, devido ao fato de as raízes profundas no perfil se encontrarem mais afastadas do caule da planta, estas não se tornam tão efetivas, na extração de água, quanto as raízes superficiais. Isto sugeriria que, na região de cerrados, o principal fator limitante de água seria a baixa retenção de água, que caracteriza os solos, e não o desenvolvimento radicular superficial. Taylor & Klepper (1973) encontraram também que, na extração de água, as baixas densidades de raízes são mais eficientes do que as elevadas, pois, no caso da alta densidade radicular, a idade média das raízes aumenta, diminuindo, com isto, sua permeabilidade. É possível, também, que as risosferas se sobreponham mais freqüentemente, no caso das maiores densidades.

Num outro aspecto das relações solo-planta-água, Taylor & Klepper (1973) e Herkelrath et al. 1977 têm indicado que, em solos similares aos de cerrado, a resistência da planta ao fluxo de água é mais importante do que a do solo, quando a tensão atinge -0,8 até -1,0 bar, faixa na qual se encontra mais de 70% da água disponível nestes solos. Isto indica que a espécie cultural é importante porque, conforme demonstrado por Tomar & Ghidyal (1973), as culturas se diferenciam quanto à resis-

tência e ao fluxo de água na zona radicular, sendo que a raiz da soja apresenta uma resistência de 12:1, em relação ao caule e a raiz do arroz-de-sequeiro apresenta a menor resistência de 2,9:1, em relação ao caule. Isto é motivado pela degradação do córtex da raiz, existindo canais abertos, que permitiriam a livre movimentação da água até a atmosfera.

CONCLUSÕES

A extração da água nas diferentes camadas de solo, em relação à densidade de plantio de uma cultura de milho, indica que, até aos 57 dias após a emergência, as características de extração foram quase que similares, sendo consideravelmente maiores nas camadas superficiais. A partir dos 82 dias, as maiores densidades de plantio começaram a mostrar uma maior extração de água em profundidades abaixo dos 45 cm. Contudo, a proporção da água extraída nos diferentes tratamentos foi semelhante, observando-se que em todos os casos, no período de máximo desenvolvimento radicular, 85 - 90% da água é extraída nos primeiros 60 cm de profundidade, o que permitiria o esgotamento da água disponível aos oito e treze dias após chuva, para o caso de densidade de plantio de 80.000 e 20.000 plantas/ha, respectivamente. Os resultados podem ser explicados em função do incremento da densidade radicular à medida que aumenta a densidade de plantio.

Os resultados de variação de potencial indicam que, no início do ciclo da cultura, a maior ativida-

de radicular se situa em torno dos 35 - 45 cm e, mais tarde, na faixa de 60 - 75 cm, principalmente no caso da densidade D_4 (80.000 plantas/ha). Isto gerou fluxos ascendentes, mas de pouca significação, na maior parte do perfil de solo, com fluxos variando entre 0,33 e 0,66 mm/dia⁻¹, para conteúdos médios de umidade de 22 e 27%, respectivamente. Em geral, os conteúdos de umidade variaram desde 0,30 cm³ cm⁻³, um dia após a irrigação, até 0,21 - 0,22 cm³ cm⁻³, para a camada superficial quatro dias após a última irrigação. No entanto, na profundidade 60 - 90 cm os conteúdos de umidade variaram em torno de 0,275 cm³ cm⁻³.

Os resultados mostram que as maiores densidades de plantio apresentam uma taxa de extração de água superior às menores densidades, indicando que as elevadas densidades de plantio, maiores que 60.000 plantas/ha, esgotarão a água do solo mais rapidamente do que as densidades populacionais de 20.000 até 40.000 plantas/ha. A baixa capacidade de armazenamento de água (10 - 12%) e a condutividade hidráulica, que diminuem drasticamente o conteúdo de água no solo, podem antecipar ou agravar o déficit hídrico da cultura, no caso de populações mais elevadas.

REFERÊNCIAS

- ALLMARAS, R.R.; NELSON, W.W. & VOORHEES, W. B. Soybean and corn rooting in southwestern Minnesota. I. Water uptake sink. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 39:764-71, 1975.
- ARYA, L.M.; BLAKE, G.R. & FARREL, D.A. A field study water depletion patterns in presence of growing soybean roots. III. Rooting characteristics and root extraction of soil water. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 39:437-44, 1975.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro, R.J. *Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal*. Rio de Janeiro, 1978. 455 p. (Boletim Técnico, 53) (72 ref.).
- ESPINOZA, W.; AZEVEDO, J. & ROCHA, L.A. Densidade e irrigação suplementar na resposta de três variedades de milho ao déficit hídrico na região dos cerrados. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 15(1):85-95, jan. 1980.
- _____. Efeito da densidade de plantio sobre a evapotranspiração do milho C-111 X (*Zea mays* L.) cultivado num solo LVE de cerrado. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 14(4):343-50, out. 1979.
- GARDNER, W.R. Relation of root distribution to water uptake and availability. *Agron. J.*, 56:35-41, 1964.
- HERKELRATH, W.N.; MILLER, E.E. & GARDNER, W. R. Water uptake by plants: I. Divided root experiments. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41:1033, 1977.
- KRAMER, PAUL. Plant and soil water relationship: a modern synthesis. New York, McGraw-Hill, 1969. n.p.
- MANTILL, A. The irrigation of forage corn. In: YARON, B.; DANFORS, E.; VAADIA, Y. *Arid zone irrigation*. New York, Springer-Verlag, 1973. p. 387-91.
- NEWMAN, E.I. Root-soil water relations. In: CARSON, E.W. ed. *The plant root and its environment*. Charlottesville, Va. University Press, 1972. p. 363-440.
- NNYAMAH, J.U. & BLACK, T.A. Rates and patterns of water uptake in a Douglas. Fir forest. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41:972-9, 1977.
- REICHARDT, K. *Processos de transferência no sistema solo/planta/atmosfera*. Piracicaba, CENA, 1975. 286 p.
- _____; LIBARDI, P.L.; SAUNDERS, L.C.U. & CADIMA, A. Dinâmica da água em solo cultivado com milho. *Rev. Bras. Cien. Solo*, Campinas, 3(1): 1-5, jan/abr. 1978.
- REKOSKY, D.C. & RITCHIE, J.T. Relative importance of soil resistance and plant in root water absorption. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40:293-7, 1976.
- RICE, R.C. Diurnal and seasonal water and flux within a bermudagrass root zone. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 39: 394-8, 1975.
- ROSE, C.W. & STERN, W.R. Determination of withdrawal of water from soil by crop roots as a function of depth and time. *Aust. J. Soil Res.*, 5:11-9, 1967.
- STONE, L.R.; HORTON, M.L. & OLSON, T.C. Water loss from an irrigated sorghum field: II. Evapotranspiration and root extraction. *Agron. J.*, 65:495-7, 1973.
- TAYLOR, H.M. & KLEPPER, B. Rooting density and water extraction patterns for corn (*Zea mays* L.). *Agron. J.*, 65:965-8, 1973.
- _____, & _____. Water uptake by cotton systems: An examination of assumptions in the single root model. *Soil Sci.*, 120:57-67, 1975.
- TOMAR, V.S. & GHILDYAL, B.P. Short note on the wilting phenomenon in crop plants. *Agron. J.*, 65: 514-5, 1973.
- VAN BAVEL, C.H.M.; BRUST, K.J. & STIRK, G.B. Hydraulic properties of a clay loam soil and the field measurement of water uptake by roots: II. The water balance of the root zone. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 32:317-21, 1968.
- WOLF, J.M. *Water constraints to corn production in central Brazil*. Ithaca, New York, Cornell University, 1975. 199 p. Tese Doutorado.