

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA DO MILHO EM FUNÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA EM UM LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO ARGILOSO ÁLICO DA REGIÃO DE SETE LAGOAS (MG)⁽¹⁾

C. de L. T. de ANDRADE⁽²⁾, L. M. A. SANS⁽³⁾, L. COUTO⁽⁴⁾,
P. A. FERREIRA⁽⁵⁾ & G. C. SEDIYAMA⁽⁵⁾

RESUMO

Um experimento foi realizado em um latossolo vermelho-escuro álico, fase cerrado, visando estudar o efeito de decréscimo da água disponível do solo no fluxo de evapotranspiração do milho (*Zea mays* L.). Os resultados mostraram que a evapotranspiração real decresceu de seu máximo a partir do momento em que o valor médio da umidade da camada de 0-100cm do solo atingiu $0,314\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$, o que representa um valor médio de 44% da água disponível dessa camada. Com esses resultados, pode-se determinar a evapotranspiração real da cultura a partir da evapotranspiração de referência, uma vez conhecido o coeficiente de cultura e a percentagem de água disponível na camada de 0-100cm do solo.

Termos de indexação: evapotranspiração, água disponível, coeficiente cultural, ponto crítico de água no solo.

SUMMARY: CORN EVAPOTRANSPIRATION AS A FUNCTION OF AVAILABLE WATER OF A CLAYEY DARK RED LATOSOL OF SETE LAGOAS REGION, STATE OF MINAS GERAIS, BRAZIL

In a field experiment was determined the relationship between the amount of available water depleted in the soil and evapotranspiration of corn crop. The results showed that actual evapotranspiration decreased after its maximum when soil water was depleted below a critical level which was $0.314\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ in a 100cm soil depth. This value represents 44% of soil available water. At depletions greater than the critical (θ_c), actual evapotranspiration can be determined from reference evapotranspiration and crop coefficient since the relation ET/ET_{max} decreases linearly with further soil water depletion from critical point (θ_c).

Index terms: evapotranspiration, available water, crop coefficient, water critical level in the soil.

INTRODUÇÃO

Entre os fatores que afetam a evapotranspiração de uma cultura, a disponibilidade de água do solo é um dos mais importantes. À medida que o solo seca, a condutividade hidráulica não saturada decresce até o momento (ponto

crítico) em que ela se torna menor do que o fluxo de água necessário para manter uma dada taxa de evapotranspiração da cultura, ou seja, a taxa de evapotranspiração fica mais dependente das características físico-hídricas do solo do que da demanda atmosférica (Brunini et al., 1983; Denmead & Shaw, 1962; Espinoza, 1982; Ritchie, 1973).

⁽¹⁾ Recebido para publicação em maio e aprovado em setembro de 1991.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrícola, Centro Nacional de Pesquisa de Agricultura Irrigada, CNPAI-EMBRAPA, Caixa Postal 341, CEP 64200 Parnaíba (PI).

⁽³⁾ Engenheiro-Florestal, Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo CNPMS-EMBRAPA, Caixa Postal 151, CEP 35700 Sete Lagoas (MG).

⁽⁴⁾ Engenheiro-Agrônomo, Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, CNPMS-EMBRAPA.

⁽⁵⁾ Engenheiro-Agrônomo, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, CEP 37560 Viçosa (MG).

Muitas funções relacionando água do solo e evapotranspiração têm sido desenvolvidas e testadas sob as mais diversas condições edafoclimáticas e tipos de planta (Borg, 1980). A partir de uma análise dessas funções, Tanner (1977) concluiu que a mais adequada para relacionar água do solo e evapotranspiração é a desenvolvida por Denmead & Shaw (1962), a qual considera decréscimo linear de transpiração com a redução da água do solo a partir de um teor crítico de umidade no perfil do solo. A literatura tem mostrado os mais diversos valores para o ponto crítico de umidade (Ferraz, 1972; Ritchie et al., 1972; Makking & Van Hermst, 1956). Denmead & Shaw (1962) postularam que esse ponto varia com a demanda evaporativa da atmosfera. Ritchie (1973) e Ritchie et al. (1972), porém, contraditoriamente, verificaram que para algodão, milho e sorgo, esse valor é independente da demanda atmosférica; entretanto, consideraram que o fator crescimento e desenvolvimento radicular sejam os principais responsáveis pelos diferentes valores do ponto crítico (θ) sob uma dada demanda climática.

Um sumário dos valores de θ_c é apresentado por Tanner (1977), que constata ainda que os valores, na maioria, estão entre 25 e 35% da água extraível (quantidade total de água extraída pelo sistema radicular da planta, desde a última chuva ou irrigação até a taxa de transpiração tornar-se nula).

Com o efeito da disponibilidade de água na evapotranspiração varia com a cultura e é condicionado, principalmente, pelas características de retenção de água do solo, pelo sistema radicular da cultura e pelos fatores meteorológicos, que determinam a demanda evaporativa. Tanner (1977) recomenda que as relações entre a evapotranspiração e a depleção de água no solo, durante a fase de decréscimo, sejam estabelecidas experimentalmente no campo.

Considerando as peculiaridades de solo, clima e planta da região de cerrado, foi desenvolvido este trabalho buscando: (a) estudar o efeito do decréscimo da água disponível do solo na taxa de evapotranspiração da cultura do milho; (b) determinar o ponto crítico de umidade do solo, abaixo do qual a taxa de evapotranspiração da cultura reduz do seu valor máximo, e (c) estabelecer uma relação que possibilite a determinação da taxa de evapotranspiração real da cultura, em função da taxa de evapotranspiração de referência, do coeficiente de cultura e da porcentagem de água disponível, para o período entre os estádios de florescimento e enchimento de grãos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em um latossolo vermelho-escuro álico A fraco, textura argilosa, fase cerrado, relevo suave ondulado, em uma área cultivada por mais de duas décadas no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo - EMBRAPA, Sete Lagoas (MG).

Em uma área de um hectare, plantada com milho (*Zea mays* L.) cultivar Cargill-111S, cuja densidade era de 50.000 plantas/hectare, selecionaram-se duas parcelas que receberam irrigações regulares até a fase de pendramento, a partir da qual uma delas foi submetida ao déficit hídrico. As taxas de aplicação de água foram sempre inferiores à de velocidade de infiltração básica, para evitar escoamento superficial e, conseqüentemente, tornando esse termo nulo na equação de balanço.

O teor de água do solo foi determinado com sonda de nêutrons, devidamente calibrada e o potencial matricial, por meio de blocos de resistência elétrica previamente calibrados.

A taxa de evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada em base diária, mediante o método desenvolvido por Penman (1948) e adaptado por Doorenbos & Pruitt (1976).

A taxa de evapotranspiração da cultura foi determinada pelo método do balanço de água do solo, realizado em condições de campo, conforme Andrade (1987).

O limite superior de água disponível foi determinado no campo segundo o método descrito por Ritchie (1981): consistiu em determinar, diariamente, o teor de água do solo de 20 em 20cm até a profundidade de 120cm, em uma área de aproximadamente 16m, previamente saturada e coberta com lona plástica. Efetuaram-se três repetições e ajustou-se uma função relacionando o armazenamento de água no perfil (seção de controle de 100cm de profundidade) e o número de dias após saturação da área. Considerou-se que o solo atingiu o limite superior de água disponível quando a variação do armazenamento de água na seção de controle era inferior a 1,0mm.dia.

Considerando a dificuldade de medir, em condições de campo, o limite inferior de água disponível, admitiu-se como sendo a lâmina de água retida a -1,5 MPa, determinação esta feita em laboratório, segundo o método descrito pela EMBRAPA (1979).

No florescimento da planta, que é o período considerado mais crítico sob o aspecto de estresse hídrico (Denmead & Shaw, 1959), procedeu-se à suspensão da irrigação em uma das parcelas (dois). A relação entre a taxa de evapotranspiração da cultura da parcela dois (evapotranspiração real da cultura, ET_r), e o da parcela um (evapotranspiração máxima da cultura, ET_{máx}), obtida através do balanço de água, foi analisada em função do decréscimo da água disponível no volume de controle (AD = 100), com a finalidade de desenvolver um modelo capaz de corrigir a ET_{máx} em decorrência do decréscimo da disponibilidade de água.

Maiores detalhes da instalação das parcelas experimentais, do manejo da irrigação, do monitoramento da umidade e potencial da água do solo, da caracterização do perfil do solo e do balanço de água no solo, ao longo do ciclo da cultura, podem ser vistos em Andrade (1987).

Para interpretação e ajuste dos dados, utilizaram-se modelos de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Limite superior e inferior de água disponível

Os dados de depleção de água do solo previamente saturado e coberto com lona plástica para evitar evaporação, estão representados na figura 1. Considerando-se que o decréscimo da lâmina armazenada na seção de controle foi resultante apenas da drenagem profunda, pode-se observar que a drenagem é muito elevada logo após a saturação, visto que o armazenamento cai para um valor muito abaixo do correspondente à porosidade total (34mm) logo no primeiro dia após a saturação. Isso é confirmado pelos dados de retenção de água desse solo, no qual a maior parte da água em equilíbrio com a faixa de potencial de 0 e -1,5MPa está submetida a potenciais matriciais acima de -0,01 MPa, portanto, facilmente removida pela ação da gravidade (Quadro 1).

O limite superior de água disponível (L.S.) foi atingido aos seis dias após saturação. Nesse ponto, o armazenamento de água na seção de controle (A100) era de 367mm, enquanto o valor estimado pela equação da figura 1 era de 365mm, o que mostra a viabilidade da função desenvolvida.

Comparando os valores obtidos - Figura 2 - com os dados de retenção de água - Quadro 1, observa-se que a lâmina de água (A100) tida a -0,01 MPa é de 372mm, apenas 1,4% maior que o valor medido no campo, ao passo que a lâmina retida a -0,03 MPa é de 342mm, 6,8% menor que o valor obtido no campo. Assim, a lâmina de água retida a -0,01 MPa representa melhor o limite superior de água disponível, conforme observaram Costa et al. (1981), ao passo que Fernandes et al. (1978) obtiveram valores menores ao pesquisar um latossolo com características físicas semelhantes.

Pela figura 2, verifica-se que, exceto na camada de 0-100cm de perfil do solo, a forma dos perfis é idêntica, confirmando a eficiência de ambos os métodos na determinação do limite superior de água disponível. Para efeito do cálculo da água disponível, adotou-se o valor de 367mm como o correspondente ao limite superior.

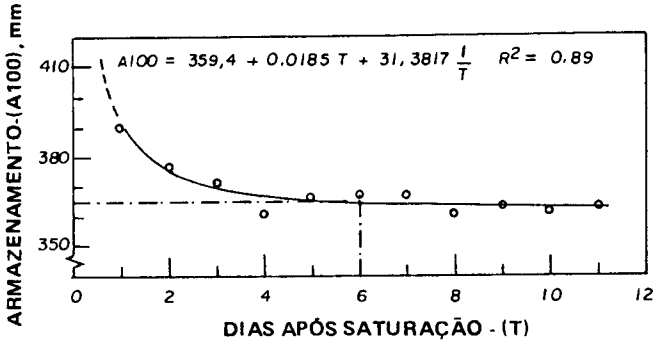


Figura 1. Depleção da água no solo em uma bacia coberta com lona plástica. Sete Lagoas, MG, 1986.

O limite inferior de água disponível (ponto de murcha permanente) foi considerado igual à lâmina de água A100 retida sob um potencial matricial de -1,5 MPa, cujo valor obtido foi de 274mm, praticamente idêntico ao encontrado por Costa et al. (1981), a partir de amostras não deformadas, embora Fernandes et al. (1978) tenham constatado valor inferior para um latossolo fisicamente semelhante (Quadro 1).

Água disponível

Considerando os limites superior e inferior definidos, a lâmina de água disponível na seção de controle foi de 93mm, ou seja, 0,093cm³.cm⁻³. Essa lâmina, muito pequena, é uma

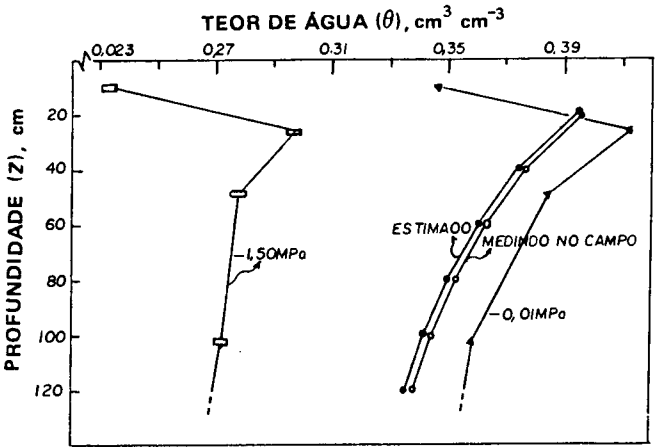


Figura 2. Perfis de umidade do solo no limite superior de água disponível determinado no campo e estimado pela equação ajustada, e perfis de umidade submetida a -0,01 MPa e a -1,50 MPa. Sete Lagoas, MG, 1986.

Quadro 1. Teor de umidade em equilíbrio com potenciais matriciais de 0 a -1,5 MPa, armazenamento de água e quantidade de água disponível extraída no volume de controles, para cinco horizontes do latossolo vermelho-escuro álico, fase cerrado. Sete Lagoas (MG), 1986. Média de nove repetições

Potencial matricial	Teor de água em profundidade (cm)						A100 ⁽¹⁾	D100 ⁽²⁾
	Ap	A3	B1	B21	B22	Média ponderada		
	0-10	10-26	26-49	49-102	1-2-142			
MPa	cm³.cm⁻³						mm	%
0	0,6580	0,5790	0,6236	0,6505	0,6739	0,6452	633,62	0
-0,006	0,3796	0,4559	0,4559	0,3868	0,3743	0,3964	405,46	63,43
-0,010	0,3465	0,4132	0,4132	0,3590	0,3527	0,3667	372,43	72,62
-0,030	0,3183	0,3874	0,3874	0,3295	0,3220	0,3365	342,50	80,94
-0,50	0,3045	0,3740	0,3740	0,3168	0,3119	0,3240	329,05	84,68
-0,80	0,2953	0,3665	0,3665	0,3105	0,3028	0,3164	321,99	86,64
-0,100	0,2895	0,3614	0,3614	0,3056	0,3990	0,3117	316,85	88,07
-0,300	0,2673	0,3359	0,3359	0,2902	0,2829	0,2935	297,75	93,38
-0,500	0,2609	0,3282	0,3282	0,2841	0,2781	0,2871	290,77	95,32
-1,000	0,2426	0,3075	0,3075	0,2763	0,2702	0,2770	279,72	98,39
-1,500	0,2339	0,2981	0,2981	0,2723	0,2658	0,2716	273,94	100,00
Macroporos	0,2784	0,1231	0,1231	0,2637	0,2996	-	-	-
Microporos	0,3796	0,4559	0,4559	0,3868	0,3743	-	-	-

(1) Lâmina de água armazenada no volume de controle. (2) Percentual de água disponível extraída.

característica da maioria dos solos sob cerrado, o que torna as plantas nele cultivadas, cujo sistema radicular se desenvolve pouco, muito vulneráveis a déficits hídricos prolongados, segundo Espinoza (1980).

Considerando a água em equilíbrio com o potencial de $-0,01$ MPa (Quadro 1) como limite superior, nota-se que a quantidade de água disponível por horizonte variou de $0,087\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ no horizonte B21 a $0,115\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ no horizonte A3. Com exceção do horizonte A3, mais de 50% de água disponível está retida a potenciais maiores que $-0,1$ MPa, como também observaram Costa et al. (1981). No horizonte A3, embora a quantidade total de água disponível tenha sido ligeiramente maior, o adensamento favoreceu a retenção de água a potenciais mais baixos.

Os dados de retenção de água (Quadro 1), em termos de lâmina de água disponível na seção de controle, mostram que apenas 27% da lâmina de água retida a potenciais matriciais entre 0 e $-1,5$ MPa está disponível para as plantas e que da lâmina disponível, mais de 56% está retida a potenciais maiores que $-0,1$ MPa, o que está coerente com as propriedades físicas do solo e com as características de transmissão de água, verificadas por Costa et al. (1981) e Espinoza (1980).

Evapotranspiração da cultura em função do déficit de água no solo

As variações do armazenamento (A100) e da disponibilidade de água para as plantas (AD 100), foram plotadas em função do número de dias após o plantio (DAP) - Figura 3.

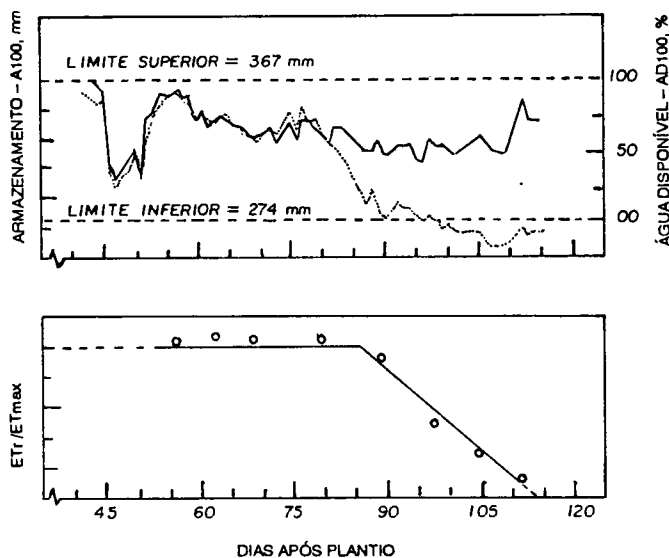


Figura 3. Valores da relação $ETr/ET_{máx}$, em função do número de dias após o plantio, do armazenamento e da água disponível nas parcelas com e sem déficit de água. Sete Lagoas, MG, 1986.

Nesta figura, observa-se que, até antes da suspensão da irrigação da parcela dois, o armazenamento de água na seção de controle permaneceu acima de 50% da água disponível, nas duas parcelas, exceto por volta dos 45-50 DAP, em que se verificou uma queda marcante do armazenamento. Como nesse período ocorreram irrigações regulares nas duas parce-

las (Andrade, 1987, 1988), pode-se deduzir que essa queda no armazenamento se deveu a um mau funcionamento da sonda de nêutrons usada para estimar o teor de água do solo.

Os valores da relação entre a evapotranspiração da cultura das parcelas dois e um ($ETr/ET_{máx}$) estão plotados em função do número de DAP na figura 3.

A relação $ETr/máx$ permaneceu em torno da unidade, ou seja, a taxa de evapotranspiração da cultura se manteve no seu valor máximo, até aos 85 DAP, no momento em que os efeitos das características físico-hídricas do solo afetaram a taxa de evapotranspiração mais que a demanda climática, iniciando-se o decréscimo da evapotranspiração da cultura. O início da fase de decréscimo ocorreu aproximadamente dez dias após a última irrigação (Figura 3), refletindo a grande suscetibilidade do milho cultivado nesse solo, ao déficit hídrico, da mesma forma que Espinoza (1982) constatou que reduções drásticas na evapotranspiração ocorreram 12 a 15 dias após a suspensão da irrigação.

Utilizou-se a equação de regressão $ETr/ET_{máx} = 4,0 - 0,0355 \text{ DAP}$ ($r^2 = 0,96$) para determinar o início e o final da fase de decréscimo aos 65 e 113 DAP respectivamente (Figura 3).

Embora tenham ocorrido chuvas leves e mesmo ascensão capilar durante a fase de decréscimo (Andrade et al., 1987), elas não foram suficientes para suprir a demanda de evapotranspiração, o que permite considerar o final da referida fase como sendo o limite inferior de água disponível, conforme Ritchie (1981). Todavia, o menor valor de armazenamento observado no período foi de 256mm, aos 108 DAP, antes da última chuva (Figura 3), o que é mais próximo de um limite inferior de água disponível determinado em condições de campo.

Pela figura 3, observa-se que o armazenamento na seção de controle, correspondente ao limite inferior, está abaixo do valor da lâmina d'água a $-1,5$ MPa, considerado por vários autores (Gardner & Nieman, 1964; Gavande, 1972; Moniz, 1972, e Peters, 1965) como sendo ponto de murcha permanente. Observa-se, também, que o armazenamento de água no volume de controle esteve abaixo do valor correspondente ao limite superior de água disponível, mesmo após chuvas ou irrigações pesadas (Andrade et al., 1988). Essas diferenças podem ser atribuídas a erro na curva de calibração da sonda de nêutrons, causando uma subestimativa sistemática dos teores de água e, conseqüentemente, do armazenamento de água no solo. Assim, o armazenamento correspondente ao limite inferior, determinado no campo, que é de 256mm, foi aumentado para 274mm, correspondente à lâmina retida a $-1,5$ MPa, não alterando, dessa forma, a lâmina de água disponível. As curvas de armazenamento (Figura 3) foram deslocadas de 18mm para cima, sem prejuízo do balanço de água no solo, pois os componentes deste foram obtidos pela variação temporal do armazenamento, onde o erro é eliminado.

Os perfis de umidade e de potencial total de água no solo, do início e do final da fase de decréscimo da taxa de evapotranspiração da cultura, são apresentados na figura 4. Os perfis do início da fase foram obtidos por interpolação entre os dias 85 e 87 DAP e os do final da fase foram considerados os de 108 DAP, por serem mais representativos do limite inferior de água disponível, conforme discutido. Nestes perfis, tanto a umidade quanto o potencial total apresentam variações acentuadas dos seus valores com a profundidade, dificultando, dessa forma, a representatividade destes com um

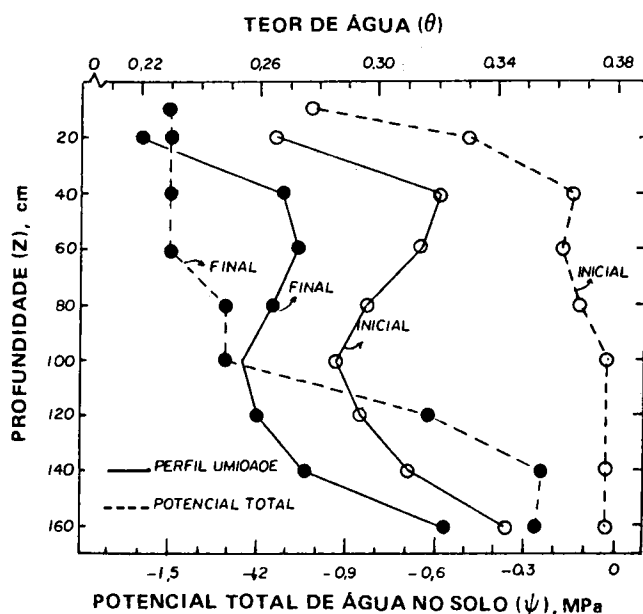


Figura 4. Perfis de umidade e de potencial total de água no solo, do início e do final da fase de decréscimo da relação $E_{Tr}/E_{Tmáx}$. Sete Lagoas, MG, 1986.

único valor, como também observou Ritchie (1973). Entretanto, para efeito de comparação com trabalhos citados na literatura, serão usados valores do armazenamento de água ou valores médios de potencial total e de umidade na seção controle.

No início da fase de decréscimo da taxa de evapotranspiração da cultura, o armazenamento de água no solo era de 297mm, que, após correção (somando-se 18mm), tornou-se 315mm. Esse valor corresponde a um teor médio de água de $0,314\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ e representa 44% da água disponível no volume de controle (Figura 3).

O valor do ponto crítico de 44% da água disponível é bastante inferior ao encontrado por Denmead & Shaw (1962) para o milho - que é de 80% da água disponível, sob uma demanda de evapotranspiração de $5,6\text{mm}^{-1}\text{dia}$. Por outro lado, Ritchie (1973), trabalhando também com milho, observou que o ponto crítico só é atingido quando o teor de água do solo corresponde a 25% da água extraível, sob uma demanda de aproximadamente $6,0\text{mm}^{-1}\text{dia}$. Valores do ponto crítico para diversas culturas e condições edafoclimáticas foram relacionados por Tanner (1977), constatando que a maioria deles está na faixa de 25 a 35% da água extraível, inferiores, portanto, ao valor encontrado no presente trabalho, onde se relacionou a água disponível.

Provavelmente, essas diferenças nos valores do ponto crítico para uma mesma planta, sob condições semelhantes de demanda de evapotranspiração, devam-se, além das variações nas características edafoclimáticas, ao desenvolvimento diferenciado do sistema radicular das plantas que, explorando volumes diferentes de solo, comportam-se também de forma distinta quando submetidas ao estresse hídrico, conforme também observaram Ritchie et al. (1973).

Definidos o início (ponto crítico), o final (limite inferior de água disponível) e a forma de decréscimo da relação $E_{Tr}/E_{Tmáx}$, estabeleceu-se uma função que possibilita a determinação da taxa de evapotranspiração real da cultura (E_{Tr}), nesse período, baseado no modelo desenvolvido por Tanner (1977) - Figura 5.

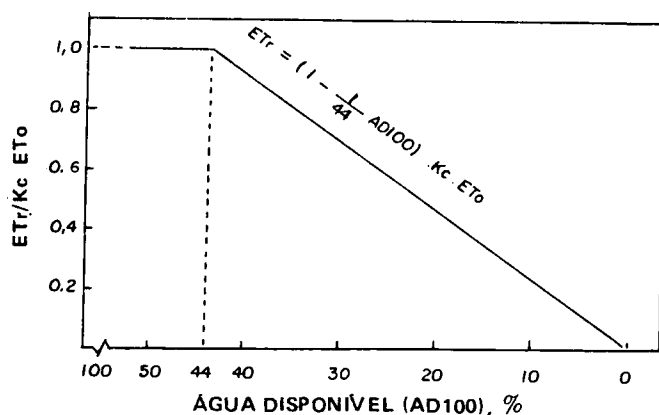


Figura 5. Evapotranspiração real (E_{Tr}), em função da evapotranspiração de referência (E_{To}), do coeficiente de cultura (K_c) e da disponibilidade de água (AD_{100}). Sete Lagoas (MG), 1986.

Conhecendo-se AD_{100} , E_{To} e o coeficiente de cultura (K_c), para o estágio em que se processou o estudo, a taxa de evapotranspiração real do milho pode ser obtida por intermédio da seguinte equação:

$$E_{Tr} = (1 - 1/44 AD_{100}) K_c E_{To} \quad (1)$$

onde:

E_{Tr} = taxa de evapotranspiração real ($\text{mm}.\text{dia}^{-1}$);

AD_{100} = água disponível no volume de controle (%);

k_c = coeficiente de cultura;

E_{To} = taxa de evapotranspiração de referência ($\text{mm}.\text{dia}^{-1}$).

Vale ressaltar que essa equação só é válida para o período após o florescimento da cultura e sob a demanda da evapotranspiração em que se realizou o estudo. Para estágios anteriores e sob outras condições de demanda climática, o comportamento da planta diante do estresse hídrico seguramente será diferente.

CONCLUSÕES

1. A equação de regressão da evapotranspiração real em relação à evapotranspiração máxima da cultura ($E_{Tr}/E_{Tmáx}$) versus número de dias após o plantio (DAP), durante o período de déficit hídrico, foi do tipo linear.

2. A relação $E_{Tr}/E_{Tmáx}$ permaneceu em torno da unidade por aproximadamente dez dias após a última irrigação, refletindo a grande suscetibilidade do milho cultivado em um latossolo vermelho-escuro álico fase cerrado ao déficit hídrico.

3. A relação $E_{Tr}/E_{Tmáx}$ começou a decrescer da unidade a partir do momento em que o teor médio de água da camada de 0-100cm do perfil do solo atingiu $0,315\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$, o que representa 44% da água disponível na referida camada.

4. Durante a fase de maior consumo de água da cultura do milho, submetida ao déficit hídrico, a taxa de evapotranspiração real (E_{Tr}) pode ser determinada em função da taxa de evapotranspiração de referência (E_{To}), do coeficiente de cultura (K_c) e da porcentagem de água disponível na camada de 0-100cm do perfil (AD_{100}), por intermédio da equação:

$$E_{Tr} = (1 - 1/44 AD_{100}) K_c E_{To}$$

LITERATURA CITADA

- ANDRADE, C. de L. T. de. Balanço de água em um latossolo vermelho-escuro álico, cultivado com milho (*Zea mays* L.), sob irrigação por aspersão. Viçosa, UFV, 1987. 84p. (Tese de Mestrado.)
- ANDRADE, C. de L. T. de; SEDIYAMA, G.C.; COUTO, L.; SANS, L.M.A. & FERREIRA, P.A. Balanço hídrico num latossolo vermelho-escuro álico cultivada com milho com irrigação por aspersão. R. Ceres, Viçosa, 33:89-104, 1988.
- BORG, H. Plant available water. Madison, University of Wisconsin, 1980. 111p. (Tese de Mestrado.)
- BRUNINI, O.; ALFONSI, R.R. & CAMARGO, M.B.P. de. Efeitos dos elementos básicos climáticos no desenvolvimento da cultura do milho. In: SEMINÁRIO SOBRE PRODUTIVIDADE DO MILHO, 1., Londrina, 1983. Resumos. Londrina, IAPAR, 1983. p.21-40.
- COSTA, E.F. da; COUTO, L. & AVELAR, B.C. Infiltração e redistribuição de água em um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, fase cerrado, no campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18., Salvador, 1981. Resumos. Salvador, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1981. p.20.
- DENMEAD, O.T. & SHAW, R.H. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. Agron. J., Madison, 54:385-390, 1962.
- DENMEAD, O.T. & SHAW, R.H. Evaporation in relation to the development of corn crop. Agron. J., Madison, 51:725-726, 1959.
- DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. Crop water requirements. Roma, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1976. 179p. (Irrigation and Drainage Paper, 24.)
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Classificação de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979.
- ESPINOZAM, W. Extração de água pelo milho em Latossolo da região dos cerrados. Pesq. agropec. bras., Brasília, 15:69-78, 1980.
- ESPINOZA, W. Resposta de doze cultivares de milho ao deficit hídrico. Pesq. agropec. bras., Brasília, 17:905-915, 1982.
- FERNANDES, B.; RESENDE, M. & REZENDE, S.B. de. Caracterização de alguns solos sob cerrado e disponibilidade d'água para culturas. Experimentae, Viçosa, 24:209-260, 1978.
- FERRAZ, E.S.B. Estudo da evapotranspiração real através da umidade do solo por moderação de neutrons. Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP-CNEN, 1972. 40p. (Boletim Científico, 5)
- GARDNER, W.R. & NIEMAN, R.H. Lower limit of water availability to plants. Science, Washington, 143:1460-1462, 1964.
- GAVANDE, S.A. Física de suelos. México, Limisa-Wiley, 1972. 351p.
- MAKKING, G.F. & VAN HERMST, H.D.J. The actual evapotranspiration and the soil moisture tension. Neth. J. Agric. Sci., Wellington, 4:67-72, 1956.
- MONIZ, A.C. Elementos de pedologia. São Paulo, USP, 1972. p.45-47.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. London, London, 193:120-146, 1948.
- PETERS, D.B. Water availability. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.279-285. (Agronomy, 9)
- RITCHIE, J.T. Influence of soil water status and meteorological conditions on evaporation from a corn canopy. Agron. J., Madison, 65:894-897, 1973.
- RITCHIE, J.T. Soil water availability. Pl. Soil., The Hague, 58:327-338, 1981.
- RITCHIE, J.T.; BUERNETT, E. & HENDERSON, R.C. Dryland evaporative flux in a subhumid climate: III. Soil water influence Agron. J., Madison, 64:168-173, 1972.
- TANNER, C.B. Relation of climate to leaching of solutes and pollutants through soil. Madison, University of Wisconsin, 1977. 31p. (Report to Environmental Data Service-NOAA. MG-34-F72)