

EVAPOTRANSPIRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO RADICULAR DO MILHO IRRIGADO¹

FRANCISCO ASSIS DE OLIVEIRA², JOSÉ JOAQUIM SANTANA E SILVA³
e TARCÍSIO GOMES DA SILVA CAMPOS⁴

RESUMO - Estudou-se, em um solo Podzólico Vermelho-Amarelo do Projeto de Irrigação de São Desidério, Barreiras, Bahia, a evapotranspiração atual (ETA) e o desenvolvimento radicular do milho (*Zea mays* L.), cv Centralmex. Os resultados indicam que nos 73 dias do ciclo da cultura (dos 22 aos 95 dias) houve uma ETA acumulada de 455 mm, tendo as camadas de 0-20 cm; 20-40 cm; 40-60 cm; 60-80 cm contribuído com extração da água em 36%, 39%, 22% e 3%, respectivamente. O maior consumo foi de 8,02 mm/dia, ocorrido aos 81 dias, época de formação da espiga e enchimento dos grãos e de máximo crescimento das raízes. O coeficiente da cultura (Kc) cresceu com o desenvolvimento das plantas, variando de 0,41 a 1,16. Foi observada estreita correlação entre a ETA (mm/dia) e o índice de área foliar (IAF) da cultura e 90% em peso seco de raízes se concentraram nos 45 cm superficiais do solo.

Termos para indexação: *Zea mays*, uso consuntivo de água, área foliar, sistema radicular.

EVAPOTRANSPIRATION AND ROOT DEVELOPMENT OF IRRIGATED CORN

ABSTRACT - The actual evapotranspiration process (ETA) and the root development of cv Centralmex corn (*Zea mays* L.) on a Red-Yellow Podzolic soil of São Desidério, Barreiras, Bahia, Brazil, were studied. The accumulated ETA during the 73-day culture cycle was 455 mm. Water extraction by 0-20 cm; 20-40 cm; 40-60 cm, and 60-80 cm soil level was 36%, 39%, 22%, and 3%, respectively. The period of crop maximum demand, 8.02 mm/day took place after 81-day culture cycle. Culture coefficient (Kc) ranged from 0.41 to 1.16. A significant correlation was observed between ETA (mm/day) and leaf area index (LAI). 90% of root weight was concentrate in the upper of the 45 cm soil.

Index terms: *Zea mays*, consumptive water use, leaf area, radicular system.

INTRODUÇÃO

O consumo de água por uma cultura em condições de desenvolvimento normal corresponde à evapotranspiração atual (ETA) ou uso consuntivo (Grassi, 1968); é um processo dinâmico, definido como sendo a água de constituição mais as perdas que ocorrem na forma de vapor através da superfície do solo (evaporação) e da superfície foliar (transpiração) e apresenta variações locais e espaciais em função das condições

edafoclimáticas e do estágio de desenvolvimento das plantas (Breirsdorf & Mota, 1971; Simões, 1973). Na prática, sabe-se que é difícil separar a perda de água de transpiração da evaporação, no entanto, o papel fundamental da transpiração é o de promover o equilíbrio térmico da planta e o transporte de nutrientes do solo para seus órgãos (Assis & Verona, 1991). A falta de estimativa da ETA para as condições locais de solo-clima-planta conduz invariavelmente ao manejo inadequado da irrigação, que, por excesso ou deficiência na aplicação da água, pode promover redução significativa no rendimento das culturas (Millar, 1976). Para Mundstock (1977), o controle da umidade no solo é limitante para o rendimento da cultura do milho.

Vários são os conceitos para se estimar a evapotranspiração do ecossistema, através de procedimentos indiretos como os modelos adotados por

¹ Aceito para publicação em 2 de junho de 1993.

² Eng.-Agr., M.Sc., Dr., - Prof., Adj. UFPb/CCA/DSER. CEP 58397-000, Areia, PB.

³ Eng. Agr., M.Sc., EPABA/UEP São Francisco, Caixa Postal 24, CEP 47800-000, Barreiras, BA.

⁴ Eng. Agr., M.Sc., EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa do Algodão (CNPq), Caixa Postal 174, CEP 58107-720 Campina Grande, PB.

Thornthwaite (1948), Penman (1948), Hargreaves (1974b) e, mais recentemente, de Doorenbos & Kassam (1979), ou diretos através de medidas do potencial de umidade dos solos (Stone et al. 1973; Arya et al. 1975; Reichardt 1975) e por variação da umidade do solo determinada por gravimetria (Bernardo, 1982). O controle da umidade do solo, por gravimetria, para determinação da evapotranspiração das culturas tem sido bastante usado, principalmente nos locais onde o perfil do solo é uniforme e nos quais o lençol freático não influencia o teor de umidade na zona radicular da cultura (Bernardo, 1982).

Espinoza (1980) verificou que a cultura do milho, em solo de cerrado, no período de máximo desenvolvimento radicular, 85% a 90% da água é extraída dos primeiros 60 cm de profundidade. Para Mantell (1973), nas condições semi-áridas de Israel, as raízes do milho extraem cerca de 90% do consumo de água dos 120 cm superficiais do solo. Taylor & Klepper (1973) verificaram que a quantidade de água extraída das camadas do solo pelo milho depende do estágio de desenvolvimento da cultura, da concentração de raízes e do conteúdo de umidade no solo.

A área foliar da cultura é, em geral, bom indicador da capacidade fotossintética da planta e sua determinação é importante para estudos de nutrição, competição e da relação sol-água-planta (Benincasa et al. 1976). Para as condições de cerrado, Espinoza (1979) encontrou correlação linear positiva entre o índice de área foliar e a evapotranspiração da cultura do milho; comportamento similar foi constatado para as condições irrigadas de Barreiras, BA, com as culturas do arroz (Oliveira, 1980), do algodão (Oliveira & Silva, 1987) e do feijão *Phaseolus* (Oliveira & Silva, 1990).

Para Inforzato & Alvarez (1957), antes de solucionar problemas de preparo de solo, adubação e qualidade da água, é importante conhecer o

desenvolvimento radicular durante o ciclo da cultura, dada a sua utilidade na quantificação da água a ser aplicada na irrigação. De acordo com Mantell (1973), em Israel, o desenvolvimento radicular do milho progride até a fase de embonecamento, momento em que a exploração radicular pode atingir uma profundidade de até 120 cm. Para as condições irrigadas do perímetro de São Desidério, Barreiras, BA, com base na metodologia adotada por Veiga & Oliveira (1976), para a cultura da soja, Oliveira (1980) verificou que o sistema radicular do arroz atingiu a profundidade efetiva máxima de 40 cm; a do algodão, de 75 cm (Oliveira & Silva, 1987), e a do feijão, de 60 cm (Oliveira & Silva, 1990).

O presente trabalho objetivou estudar, em condições de campo, no perímetro irrigado de São Desidério, Barreiras, BA, a evapotranspiração e o desenvolvimento radicular da cultura do milho (*Zea mays* L.).

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na área experimental da UEP São Francisco, no Projeto de Irrigação de São Desidério, (PISD), no município de Barreiras, BA, num solo Podzólico Vermelho-Amarelo, textura média, profundo, com boa capacidade de infiltração e sem restrições de drenagem interna. Algumas características do solo encontram-se na Tabela 1.

O clima da região, segundo Hargreaves (1974a), é do tipo seco-úmido, com participação média anual de 1.020 mm, apresentando um período chuvoso de outubro a abril, e outro seco de maio a setembro. Na Tabela 2 estão os dados meteorológicos registrados durante o período de condução da pesquisa. Utilizou-se uma parcela de 100 m², praticamente em nível, provida de marachas, para evitar o escoamento superficial da água de irrigação.

TABELA 1 - Algumas características físicas e de retenção de umidade do solo.

Profundidade (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Densidade aparente (g/cm ³)	Retenção de umidade (% em peso)	
					1/3 bar	15 bars
0 - 20	52	23	25	1,44	19,33	10,48
20 - 40	42	23	35	1,37	20,02	15,50
40 - 60	35	21	44	1,36	20,72	13,23
60 - 80	36	19	45	1,35	22,01	14,20

TABELA 2. Dados da Estação Agrometeorológica da UEP São Francisco, próximo ao local do ensaio, obtidos durante a condução do trabalho. Barreiras, BA, 1979.

Mês	Temperatura-°C		UR (%)	Insolação (h)	Vento (m/s)	Evap. (mm)	ETP (mm)	Prec. (mm)
	máxima	mínima						
Junho	29,3	14,3	68	257	1,07	150	101	0
Julho	31,3	13,9	63	274	0,92	166	130	0
Agosto	32,8	15,9	57	261	0,76	197	165	0
Setembro	34,6	18,5	49	231	0,96	216	189	7

UR: Umidade relativa do ar
 VENTO: Velocidade
 EVAP.: Evaporação do tanque classe "A"
 ETP: Evapotranspiração potencial, segundo Hargreaves (1974b)
 PREC.: Precipitação pluvial
 INSOLAÇÃO: Horas de brilho solar por mês

A área do ensaio foi submetida a uma aração e duas gradagens, e de acordo com os resultados da análise do solo recebeu uma adubação de manutenção nos sulcos de plantio, com 40 kg/ha de N, na forma de sulfato de amônio, 70 kg/ha de P₂O₅, como superfosfato simples, e em cobertura 40 kg/ha de N.

Usou-se a cultivar de milho Centralmex, num espaçamento de 1,0 m entre fileiras, deixando-se, após o desbaste, em média, 6 plantas/m.

O plantio foi realizado em 09.06.79 e a emergência ocorreu em 15.06.79.

As irrigações foram efetuadas sempre que a camada do solo explorada pelas raízes perdia, em média, de 40% a 50% da umidade disponível (água retida no solo entre as tensões 0,33 e 15 bars). Com o uso de sífoes de 1", calibrados, a água foi aplicada volumetricamente, em quantidade suficiente para trazer o solo da parcela à "capacidade de campo".

Efetou-se o controle da umidade do solo através do método padrão da estufa (gravimétrico), conforme descrito por Bernardo (1982). Cerca de 35 horas após cada irrigação, tempo considerado suficiente para a água gravitacional penetrar além do perfil do solo explorado pelas raízes da cultura, determinava-se a umidade do solo, nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm e 60-80 cm do perfil, em dois locais da parcela previamente escolhidos ao acaso e com duas repetições.

Para a amostragem do solo, usou-se um trado espiral de 3/4" e material coletado era colocado para secar à estufa a 105-110°C, durante 24 a 30 horas, até que o peso do solo

ficasse constante. Dois a três dias após a determinação da umidade do solo, após a irrigação, o processo era repetido diariamente, até que a umidade média no perfil do solo atingisse o nível pré-estabelecido para irrigação (40% a 50% da umidade disponível).

A evapotranspiração atual (ETA), ou uso consuntivo da cultura, foi determinado pelo balanço de água no solo, antes e após as irrigações. O coeficiente da cultura (Kc) foi estimado a partir da relação entre a ETA e a evaporação do tanque classe "A", no período do trabalho.

Para estimativa da área foliar, procedeu-se segundo a metodologia de Gomez (1972). Foram amostradas, em intervalos de 8 a 14 dias, 10 plantas com duas repetições e 6 determinações durante o ciclo da cultura. O índice de área foliar (IAF) foi calculado a partir da relação m² de área foliar/m² de superfície de solo.

Nos mesmos períodos em que foram efetuadas as medições das áreas foliares; foram processadas as determinações do sistema radicular, através da metodologia descrita por Veiga & Oliveira (1976), para a cultura da soja.

O solo foi coletado em área de 0,40 m x 1,0 m, por intervalo de 0,15 m de profundidade até onde foi constatada a presença de raízes. Após a coleta, o solo foi submetido, durante 30 horas, a uma solução dispersante de hidróxido de sódio, na concentração de 2,5%, e as raízes, separadas em peneiras de 2 mm de malha, com aplicação de água corrente; e os resultados, expressos em peso e em percentagem de peso do material seco à estufa a 75°C. Foram registrados os resultados médios de altura de 20 plantas e rendimentos da cultura em área de 8m² com três repetições.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados médios de rendimento apresentados pela cultura foi de 5.700 kg/ha de grãos e 116 cm de altura de planta. A evapotranspiração atual (ETA) do milho, as médias de intervalos de dois a quatro dias, no período dos 22 aos 95 dias do ciclo da cultura e para profundidade do solo de 0-80 cm, encontram-se na Fig. 1, onde se verifica que a ETA cresceu a partir de 2,49 mm/dia, no início das determinações, até 8,02 mm/dia, ocorrido no intervalo dos 80 aos 83 dias após a emergência, época em que as plantas se encontravam na fase de formação de espiga.

Houve melhor ajuste dos dados obtidos a uma equação de regressão do segundo grau (Tabela 3), que permite estimar um máximo teórico para ETA de 7,65 mm/dia, ocorrido aos 81 dias do ciclo da cultura.

Observou-se, ainda, que a demanda máxima coincidiu com a época de maior IAF e maior crescimento das raízes (Tabela 4).

A integração da curva da ETA (Fig. 1), no intervalo das observações (dos 22 aos 95 dias após a emergência), resultou em um valor de 455,83 mm,

portanto um consumo médio no período de 6,24 mm/dia.

Os resultados da ETA, aqui obtidos, de certa forma confirmam os obtidos por Espinoza (1979) para uma população de 60 mil plantas de milho por hectare, em solo de cerrado.

Na Fig. 2, são apresentados os resultados da ETA por intervalo de 20 cm de solo, onde se observa que até os 50 dias do ciclo da cultura a maior demanda de água pelas plantas foi registrada nos 20 cm superficiais do perfil do solo. A partir de então, as raízes das plantas passaram a extrair mais água da camada de 20-40 cm do solo. Ainda na Figura 2, observa-se que a máxima demanda por camada de solo não ocorreu na mesma época. De acordo com as equações de regressão (Tabela 3), apenas as camadas de 0-20 cm e 20-40 cm de solo apresentaram ponto de coordenadas máximo, no período em que foram feitos os estudos (de 22 a 95 dias após a emergência) com uma ETA máxima teórica de 2,58 mm/dia, registrada aos 65 dias para a primeira camada e 2,95 mm/dia aos 78 dias para a segunda. As integrais das curvas de ETA por profundidade de solo (Figura 2), no período em

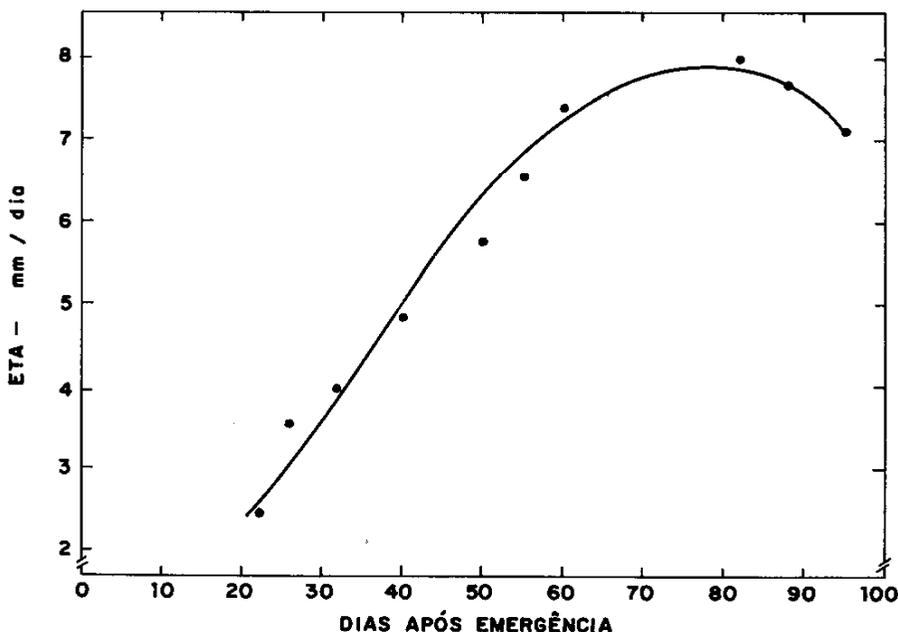


FIG. 1 - Evapotranspiração atual (ETA) do milho em função do ciclo da cultura.

TABELA 3 - Equações de regressão dos valores de evapotranspiração atual (ETA) por intervalos de profundidade do solo, 0-80; 0-20; 20-40; 40-60 e 60-80 cm, e coeficiente da cultura (Kc), em função do ciclo da cultura em dias. Barreiras, BA, 1979.

Var. dependente	Equação	Coef. R ²
ETA (0-80 cm)	$Y = -2,110 + 0,242X - 0,0015X^2$	0,974
ETA (0-20 cm)	$Y = -0,357 + 0,090X - 0,00069X^2$	0,940
ETA (20-40 cm)	$Y = -0,634 + 0,092X - 0,00059X^2$	0,967
ETA (40-60 cm)	$Y = -1,232 + 0,066X - 0,00031X^2$	0,980
ETA (60-80 cm)	$Y = -0,006 + 0,003X$	0,946
Kc	$Y = -0,046 + 0,029X - 0,000187X^2$	0,964

TABELA 4 - Dados médios do índice de área foliar (IAF) e de concentração de raízes, em gramas de matéria seca por 60.000 cm³ (área de 40 cm x 100 cm e 15 cm de profundidade) de solo, durante o desenvolvimento da cultura do milho, cv Centralmex. Barreiras, BA.

Amostragens (data)	Ciclo (dia)	IAF (m ² /m ²)	Peso de raízes g/4000 cm ² de solo						Peso total (g)
			0-15cm	15-30cm	30-45cm	45-60cm	60-75cm	70-90cm	
06.07.79	20	0,18	3,07	1,05	0,00	0,00	0,00	0,00	4,12
18.07.79	33	0,63	7,66	2,53	0,46	0,00	0,00	0,00	10,65
02.08.79	46	1,09	19,99	5,71	2,97	0,58	0,00	0,00	29,25
16.08.79	60	1,72	24,25	7,24	4,36	1,82	0,43	0,00	41,10
30.08.79	74	2,31	37,36	8,96	6,60	3,68	0,96	0,82	58,38
12.09.79	86	2,45	36,68	8,76	6,85	3,95	1,12	0,93	58,29

que se processaram as observações, cerca de 73 dias, resultaram numa demanda da cultura de 163,54 mm; 180,10 mm; 98,77 mm e 12,37 mm, por camada de solo de 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm e 60-80 cm, correspondendo, respectivamente, a 36%, 39%, 22% e 3% do consumo total de água pelas plantas, no período observado. Espinoza (1979) verificou que em solo de cerrado, na fase de máximo desenvolvimento vegetativo da cultura, o milho extraiu 43% da água evapotranspirada dos 20 cm superficiais do solo e 26% da camada de 20-40 cm, isto para uma condição mais favorável de umidade no solo do que a adotada no presente estudo.

Na Fig. 3, estão os valores de Kc, estimados a partir dos dados de ETA e de evaporação do tanque classe "A" (EV), obtidos no presente estudo, onde se constata que o coeficiente variou de aproximadamente 0,41, no período inicial de crescimento das plantas

(20 a 23 dias após a emergência), a 1,16 para fase de formação da espiga (73 a 83 dias após a emergência), apresentando, durante o período das determinações, dos 22 aos 95 dias após a emergência, um Kc médio de 0,89, valor que, de certa forma, está superestimado, visto que não foi incluído o período inicial (da emergência aos 21 dias) e final (dos 96 dias até a colheita) do ciclo da cultura e que, evidentemente, possuem valores de Kc mais baixos (Doorenbos & Kassam, 1979). Os valores de Kc, estimados no trabalho, estão concordantes com os obtidos por Espinoza (1979), para uma população de 60 mil plantas de milho por ha, em condições de cerrado do Distrito Federal, durante o período dos 59 aos 119 dias após a emergência das plântulas. A função de regressão (Tabela 3) mostra que houve um bom ajuste dos dados a uma equação do segundo grau, onde se evidencia um Kc máximo teórico de 1,07 ocorrido aos 77 dias após a emergência.

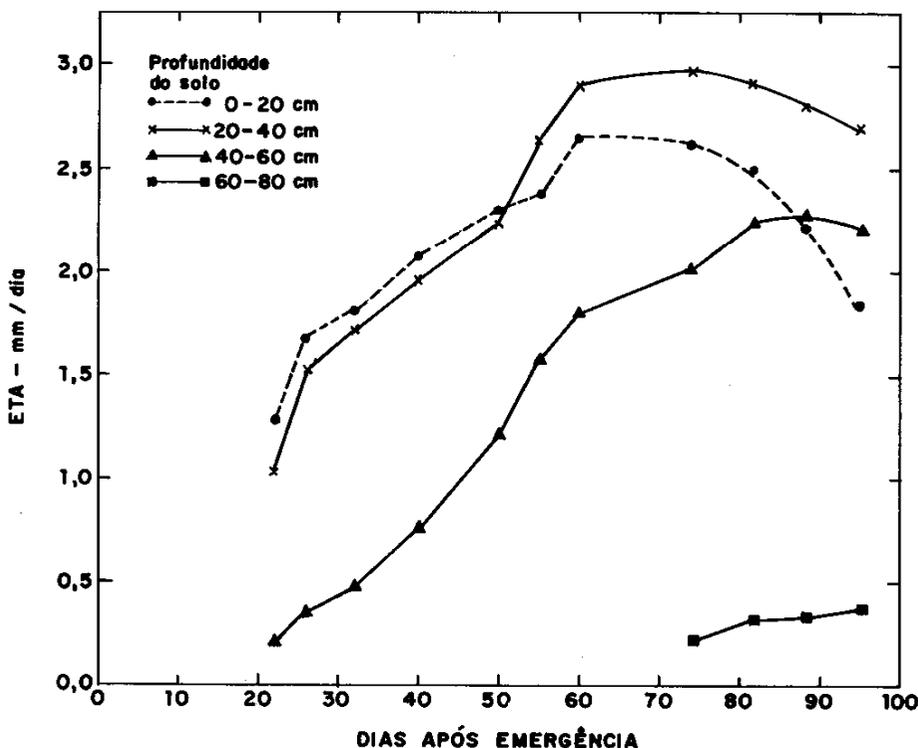


FIG. 2 - Evapotranspiração atual (ETA) por camada do solo explorada pelas raízes em função do ciclo da cultura.

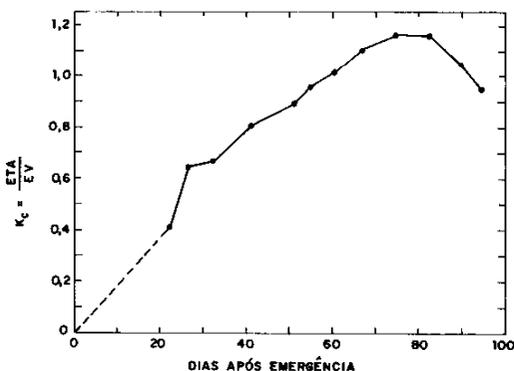


FIG. 3 - Coeficiente da cultura (K_c), obtido durante o desenvolvimento do milho.

Na Figura 4, observa-se que a ETA cresceu com o índice de área foliar (IAF), evidenciando, assim, que um aumento no grau de cobertura do solo com área foliar fotossinteticamente ativa deverá promo-

ver, em condições normais de umidade e temperatura, uma ETA evidentemente maior. O modelo que melhor se ajustou aos dados da ETA contra o IAF resultou numa equação do segundo grau e mostrou que houve uma estreita correlação entre as variáveis estudadas, onde o efeito decorrente da componente linear contribuiu com 78% na explicação do comportamento das variáveis.

Com base na equação de regressão obtida (Fig. 4), a ETA máxima teórica foi de 7,70 mm/dia para um IAF de $2,15 \text{ m}^2/\text{m}^2$. Essa correlação entre o IAF e a ETA também foi observada, em condições similares, por Espinoza (1979), para o milho; Stone et al. (1979) e Oliveira (1980), para a cultura do arroz, Silveira & Stone (1979), para o feijão; e Oliveira (1987), para a cultura do algodão herbáceo.

Dos resultados do índice de área foliar (IAF) e do peso de raízes por camada de solo, apresentados na Tabela 4, observa-se que o IAF se desenvolveu com

o ciclo da cultura, atingindo a maior taxa de crescimento, 0,045 IAF/dia, no período de 46 a 60 dias após a emergência, caindo para 0,010 IAF/dia, no período de 74 a 86 dias, época em que coincidiu com o máximo desenvolvimento das raízes, cujo aprofundamento não foi além dos 90 cm do perfil do solo. A

Fig. 5 registra o desenvolvimento radicular durante o ciclo da cultura, evidenciando que as concentrações finais das raízes foram de 63%, 15%, 12%, 7%, 2% e 1% para as camadas do solo de 0-15 cm, 15-30 cm, 30-45 cm, 45-60 cm, 60-75 cm e 75-90 cm, respectivamente.

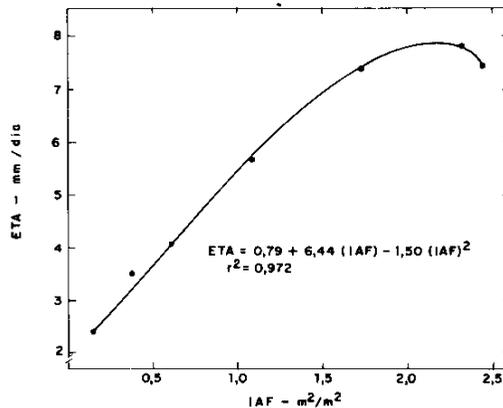


FIG. 4 - Evapotranspiração atual (ETA) do milho em função do índice de área foliar (IAF) das plantas.

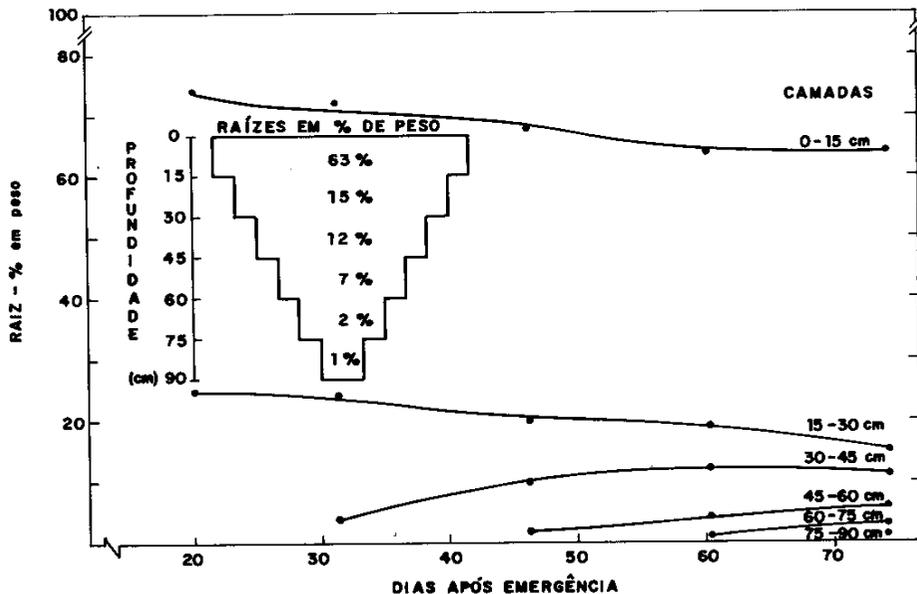


FIG. 5 - Distribuição das raízes em porcentagem de peso, por camada de solo em função do ciclo do milho, cv. Centralmex.

CONCLUSÕES

1. A evapotranspiração atual (ETA) cresceu com o desenvolvimento das plantas, de 2,49 mm/dia, no início das observações, até um máximo de 8,02 mm/dia, ocorrido em torno dos 81 dias do ciclo da cultura, época de formação da espiga e enchimento dos grãos e de máximo desenvolvimento radicular.

2. Da ETA acumulada, 445 mm, no período observado, 36%, 39%, 22% e 3% foram extraídos da camada 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm e 60-80 cm do solo, respectivamente, e o pico de maior demanda por camada ocorreu em épocas distintas do ciclo da cultura.

3. O coeficiente médio da cultura (Kc), para o período dos 22 aos 95 dias do ciclo, foi de 0,89, com variação de 0,41 no início das observações a um valor máximo de 1,16, verificado aos 78 dias.

4. O índice de área foliar (IAF), durante o ciclo da cultura, apresentou uma estreita correlação com os resultados da ETA (mm/dia).

5. As raízes da cultura não cresceram além dos 90 cm do perfil do solo e 90% em peso seco de raízes se encontrou nos 45 cm superficiais do solo.

REFERÊNCIAS

- ARYA, L.M.; BLEKE, 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 Science Society of America, Proceedings*, v.39, p.437-444, 1975.
- ASSIS, F.N. de; VERONA, L.A.F. Consumo de água e coeficiente de cultura do sorgo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.26, n.5, p.665-670, maio. 1991.
- BENINCASA, M.M.P.; BENINCASA, M.; LATANZE, R.J.; JUNQUETTI, M.T.G. Método não destrutivo para estimativa da área foliar de *Phaseolus vulgaris* L. (feijoeiro). *Científica*, Jaboticabal, v.4, n.1, p.43-48, 1976.
- BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. 2. ed. Viçosa: UFV, 1982. 463p.
- BREIRSDORF, M.I.C.; MOTA, F.S. Necessidade de água e balanço da radiação solar na cultura do arroz irrigado e estudo das secas no sistema de rotação arroz-pastagem-cultura no Rio Grande do Sul. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO, 2., 1971, Porto Alegre, RS. Porto Alegre: SEDUSUL, 1971. p.261-280.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. *Yield response to water*. Roma: FAO, 1979. 193p. (Irrigation and Drainage Paper, 33)
- ESPINOZA, W. Efeito da densidade de plantio sobre a evapotranspiração do milho irrigado na época da seca, em cerrado do Distrito Federal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.14, n.4, p.343-350, out., 1979.
- ESPINOZA, W. Extração de água pelo milho em Latossolo da região dos cerrados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.15, n.1, p.69-78, jan., 1980.
- GOMEZ, K.A. *Techniques for field experiments with rice*. Laguna, Philippines: The International Rice Research Institute, 1972, 45p.
- GRASSI, C. *Estimación de los usos consuntivos de agua y requerimientos de riego con fines de formulación y diseño de proyectos*. Merida, Venezuela: Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, 1968, 125p. (Document, 53)
- HARGREAVES, G.H. *Climatic zoning for agriculture in Northeast Brazil*. Logan: Utah State University, 1974a. 6p.
- HARGREAVES, G.H. *Potential evapotranspiration and irrigation. Requeriments for Northeast Brazil*. Logan: Utah State University, 1974b. 55p.
- INFORZATO, R.; ALVAREZ, R. Distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar em solo tipo terra-roxa-legitima. *Bragantia*, Campinas, v.16, n.1, p.1-13, 1957.
- MANTELL, A. The irrigation of forage corn. In: YARON, B.; DANFORS, E.; VAADIA, Y. *Arid zone irrigation*. New York: Springer-Verlag, 1973. p.387-391.
- MILLAR, A.A. *Respuesta de los cultivos al déficit de agua como información básica para el manejo del riego*. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1976. 62p.
- MUNDSTOCK, C.M. *Densidade de sementeira do milho para o Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: UFRGS/ASCAR, 1977. 33p.

- OLIVEIRA, F.A. de. Evapotranspiração, índice de área foliar e desenvolvimento radicular do arroz (*Oryza sativa* L.) sob irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 9., 1979, Campina Grande. *Anais...* Campina Grande: CCT/UFPb, 1980. p.145-150.
- OLIVEIRA, F.A. de; SILVA, J.J.S. Evapotranspiração, índice de área foliar e desenvolvimento radicular do feijão irrigado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.25, n.3, p. 317-322, mar. 1990.
- OLIVEIRA, F.A. de; SILVA, J.J.S. **Uso consuntivo e desenvolvimento radicular do algodoeiro herbáceo.** Salvador: EPABA/UEP São Francisco, 1987. 11p. (Boletim de Pesquisa, 8)
- PENMAN, J.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London, Series A: Mathematical and Physical Sciences*, v.193, p.120-145, 1948.
- REICHARDT, K. **Processo de transferência no sistema solo-planta-atmosfera.** Piracicaba: CENA, 1975. 186p.
- SILVEIRA, P.M. da; STONE, L.F. Balanço de água na cultura do feijão em Latossolo Vermelho-Amarelo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.14, n.2, p.111-115, 1979.
- SIMÕES, A.J. **Determinação da evapotranspiração potencial e necessidade de água de irrigação para o projeto de Mandacaru.** Petrolina: [s.n.], 1973. 29p.
- STONE, L.R.; HARTON, M.L.; OLSON, T.C. Water loss from an irrigated sorghum field: II. Evapotranspiration and root extraction. *Agronomy Journal*, Madison, v.65, p.495-497, 1973.
- STONE, L.F.; OLIVEIRA, A.B.; STEINMETZ, S. Deficiência hídrica e respostas de cultivares de arroz de sequeiro ao nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.14, n.3, p.295-301, 1979.
- TAYLOR, H.M.; KLEPPER, B. Rooting density and water extraction patterns for corn (*Zea mays*). *Agronomy Journal*, Madison, v.65, n.6, p.965-968, 1973.
- THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climates. *Geographical Review*, v.38, p.35-94, 1948.
- VEIGA, C.; OLIVEIRA, L.B. Influência do preparo do solo sobre a distribuição de raízes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em solo Podzólico Vermelho-Amarelo. *Revista Centro de Ciências Rurais*, Santa Maria, v.6, n.3, p.295-307, 1976.