

# EFEITO DA DENSIDADE DE PLANTIO SOBRE A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO MILHO IRRIGADO NA ÉPOCA DA SECA, EM CERRADO DO DISTRITO FEDERAL<sup>1</sup>

WALDO ESPINOZA<sup>2</sup>

RESUMO - Durante a época seca de 1977, foi conduzido num Latossolo Vermelho-Escuro (LVE), um estudo visando a avaliar as perdas de água por evapotranspiração (ET) de uma cultura de milho (híbrido C-111 X), em quatro densidades de plantio: 20.000 (D<sub>1</sub>), 40.000 (D<sub>2</sub>), 60.000 (D<sub>3</sub>), 80.000 (D<sub>4</sub>) plantas/ha. O estudo indica que até os 70 dias, todos os tratamentos, exceto o de 20.000 plantas/ha, apresentaram uma evapotranspiração similar, e que, após este período, a evapotranspiração atingiu sua máxima diferenciação, sendo que, aos 80-90 dias, a ET foi de 7,61, 6,84, 5,57 e 5,32 mm/dia para os tratamentos de 80.000, 60.000, 40.000 e 20.000 plantas/ha, respectivamente. A diferença na ET foi explicada pela estreita associação entre a evapotranspiração (ET) e o índice de área foliar (IAF), sendo que  $ET = 12,64 + 0,04 IAF$  ( $r = 0,99$ ). Quanto aos coeficientes da cultura, Kc, o estudo demonstrou que os valores médios desde os 59 até os 119 dias após a emergência foram de 0,60, 0,81, 0,93 e 1,06 para as densidades de plantio D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub> e D<sub>4</sub>, respectivamente. A ET acumulada resultante foi de 369,28, 399,88, 443,79 e 513,09 mm para as densidades D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub> e D<sub>4</sub>, respectivamente, sendo que a média da ET diária para todo o período foi de 2,64, 2,86, 3,17 e 3,66 mm/dia para as referidas densidades, respectivamente. O maior consumo de água, nas densidades mais elevadas, não foi correspondido pelo aumento de rendimento. Finalmente, conclui-se que a água evapotranspirada por cada planta foi de 180, 104, 77 e 64 litros de água para as densidades D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub> e D<sub>4</sub>, respectivamente.

Termos para indexação: milho, cerrados, evapotranspiração, densidade de plantio, solo LVE, economia de água.

## EFFECT OF PLANT POPULATION ON CORN EVAPOTRANSPIRATION IN AN OXISOL OF THE "CERRADOS"

ABSTRACT - In a field study, conducted during the dry season of 1977, it was evaluated the effect of four plant populations: 20.000 (D<sub>1</sub>), 40.000 (D<sub>2</sub>), 60.000 (D<sub>3</sub>) and 80.000 (D<sub>4</sub>) plants/ha on the evapotranspiration (ET) of corn (*Zea mays* L., cv. C-111 X). The results indicate that up to 70 days after planting all the treatments, except D<sub>1</sub>, showed same ET. After 80-90 days ET values were the following: 7.61, 6.84, 5.57 and 5.32 mm/day for treatments D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub> and D<sub>4</sub>, respectively. ET was found to be associated to leaf area index (LAI), being  $ET = 12,64 + 0,04 LAI$ . Seasonal ET (140 days) was found to be: 369.28, 399.88, 443.79, and 513.09 mm for treatments D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub> and D<sub>4</sub>, respectively, which correspond to 180, 104, 77 and 64 liters of water evapotranspired by each plant in the same treatments. In summary, higher populations result in higher losses due to ET, which did not reflect on yields.

Index terms: corn, "cerrados", evapotranspiration, plant density, latosol, water use efficiency.

## INTRODUÇÃO

Na região dos cerrados, a produção das culturas anuais na época da seca só é possível com irrigação.

Uma das práticas culturais, que tem sido usada pelos produtores em outras regiões com agricultura de sequeiro, tem sido a adoção de densidades de plantio menores do que aquelas recomendadas para as áreas agrícolas onde a água não é um fator limitante da produção (Burton 1959).

Segundo Pendleton (1966), as densidades de plantio têm um efeito direto sobre os rendimentos:

é que delas depende o grau de interceptação da energia solar e o grau de evaporação da água e, por conseguinte, a eficiência do uso desta.

Em geral, nas regiões úmidas, se tem observado uma tendência a aumentar a população de plantas por unidade de superfície; esta tendência proveio das novas cultivares desenvolvidas, e da utilização de fertilizantes em maior escala. Com efeito, um aumento da população de plantas significa distribuição mais uniforme das plantas em dada superfície, e, portanto, melhor interceptação da energia solar e sombreamento das ervas daninhas.

Diversos pesquisadores nos Estados Unidos têm obtido aumento de rendimentos de 5 até 25%, quando usaram espaçamentos equidistantes (Shubeck & Young 1970 e Krall et al. 1977).

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 26 de setembro de 1979.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, Ph.D., Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC)-EMBRAPA, Caixa Postal 70.0023, CEP 73.300 - Planaltina, DF.

Peters & Russel (1959) afirmaram que um incremento da população de plantas originará um pequeno aumento da água total usada, mas resultará em marcante redução do uso de água, pela planta. Esta redução pode ser relevante, fisiologicamente, e pode explicar as reduções em rendimento, observadas quando se usam elevadas populações de plantas.

Neste estudo, pretende-se mostrar o efeito da densidade de plantio sobre a evapotranspiração real da cultura, como uma contribuição para a determinação das necessidades de água para irrigação sob diferentes densidades de plantio.

#### MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido num solo LVE (Latosolo Vermelho-Escuro), no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, (CPAC/EMBRAPA), Planaltina, DF, durante a estação seca de 1977.

Foi testado o híbrido C-111 X, em densidade de 20.000 (D<sub>1</sub>), 40.000 (D<sub>2</sub>), 60.000 (D<sub>3</sub>) e 80.000 (D<sub>4</sub>) plantas/ha, em espaçamento de 80 cm entre fileiras.

As parcelas foram irrigadas cada vez que a tensão de água no solo atingiu 0.6 - 0.8 bars, na profundidade 0-30 cm. Todas as parcelas receberam uma adubação de manutenção, consistente de: 80 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato triplo) + 80 kg/ha de N (uréia) + 30 kg/ha de ZnSO<sub>4</sub> + 30 kg/ha de K<sub>2</sub>O (KCl).

A irrigação foi feita com sifões de 1/2" de diâmetro e carga hidráulica de 10 cm. No período de maior desenvolvimento da cultura, o tempo de irrigação para cada sulco de 10 m de comprimento foi de 35 minutos, suficiente para umedecer o solo até 75 cm de profundidade.

O experimento foi plantado no dia 6 de maio, e colhido em 10 de outubro de 1977. Neste período, registraram-se quedas pluviais apenas no dia 27 de agosto, de 6,6 mm e no dia 5 de setembro, de 1,8 mm.

Os dados de evaporação do tanque "A", localizado nas proximidades do experimento, aparecem na Tabela 1.

A evapotranspiração real da cultura foi calculada a partir da equação do balanço hídrico (Reichardt 1975 e Luchiarri 1978):

TABELA 1. Características da evaporação média do tanque "A", no CPAC/EMBRAPA, durante o período do experimento.

Nº	Período	Evaporação média do tanque "A" (mm)
1	Maio	3,82
	23-30	
2	Junho	2,62
	1-10	
3	11-20	3,08
4	21-30	3,88
5	Julho	4,45
	1-10	
6	11-15	4,11
7	16-22	4,45
8	23-28	5,95
9	30-5.8	5,25
10	Agosto	5,77
	6-12	
11	13-19	5,11
12	20-26	4,89
13	26-2.9	5,62
14	Setembro	3,92
	3-9	
15	10-20	5,18
16	21-26	3,60
17	27-30	3,90
18	Outubro	3,23
	1-10	

$$\Delta W = p + i - r \mp q_L - q_e \quad (1)$$

onde:

$\Delta W$  = variações nos conteúdos de água do solo na camada do solo estudada

p = precipitação

i = irrigação

r = "run off"

$q_L$  = fluxos verticais em virtude da drenagem ou ascensão capilar na profundidade de solo (L) estudada

$q_e$  = evapotranspiração da cultura

No presente estudo, a evapotranspiração da cultura (ET) foi calculada diariamente, porque experiências prévias em solos de cerrado tinham indicado que os valores da ET, determinados para períodos maiores que cinco dias, apresentavam graves erros. Por isto, os conteúdos diários de umidade foram calculados a partir das leituras de tensiômetros, instalados nas parcelas, a profundidades de 15, 30, 45, 60 e 90 cm. O cálculo da umidade do

solo, a partir da leitura de tensiômetros, foi feito usando-se uma calibração prévia dos tensiômetros, com leituras gravimétricas da umidade do solo, como se observa na Fig. 1.

Os fluxos verticais de água, na profundidade (L) 75 cm, foram determinados a partir da lei de Darcy, sendo:

$$q_z = -K(\theta) \frac{\delta \xi}{\delta z} - K(\theta) \quad (2)$$

onde:

$q_z$  = fluxo vertical, ascendente ou descendente

$K(\theta)$  = condutividade hidráulica, dependente do valor de umidade do solo  $\theta$

$\frac{\delta \xi}{\delta z}$  = gradiente de potencial matricial

Neste estudo, o valor de  $K(\theta)$  foi o determinado na mesma área do experimento, por Wolf (1975), sendo igual a  $K(\theta) = \theta^{18.93} e^{-64.117}$ .

O valor da gradiente de potencial matricial para os períodos  $T_0$  e  $T_1$  e as profundidades  $Z_1$  e  $Z_2$  foi obtido segundo a seguinte relação (Reichardt 1975), a partir das leituras diárias dos tensiômetros, a 60 e 90 cm, respectivamente:

$$\frac{\partial \xi}{\partial Z} \Big|_{Z=L} = \frac{\xi_{01} + \xi_{11} - (\xi_{02} + \xi_{12})}{\Delta Z} \quad (3)$$

onde os valores da tensão de umidade do solo aparecem explicados na Fig. 2, e sendo que  $\Delta Z$  corresponde à distância entre os tensiômetros.

O valor de  $K$  para  $Z = L$  por ser obtido utilizando-se a equação  $K(\theta)$ , onde  $\theta$  é um valor médio, da seguinte forma:

$$K(\theta) = K \frac{(\theta_{01} + \theta_{02} + \theta_{11} + \theta_{12})}{4} \quad (4)$$

O coeficiente de cultura ( $K_c$ ) foi definido a partir da relação (Luchiari Júnior 1978):

$$K_c = \frac{E}{ECA K_p} = \frac{E}{ETP} \quad (5)$$

onde:

$E$  = evapotranspiração real

$ECA$  = evaporação do tanque classe "A"

$K_p$  = coeficiente de tanque, que para condições do experimento, foi de 0,85

$ETP$  = evapotranspiração potencial

A área foliar das plantas foi medida com medidor de área foliar da Lambda Instruments (LI - 3000), no período de máximo desenvolvimento vegetativo da cultura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de evapotranspiração da cultura de milho, para as diferentes densidades de plantio

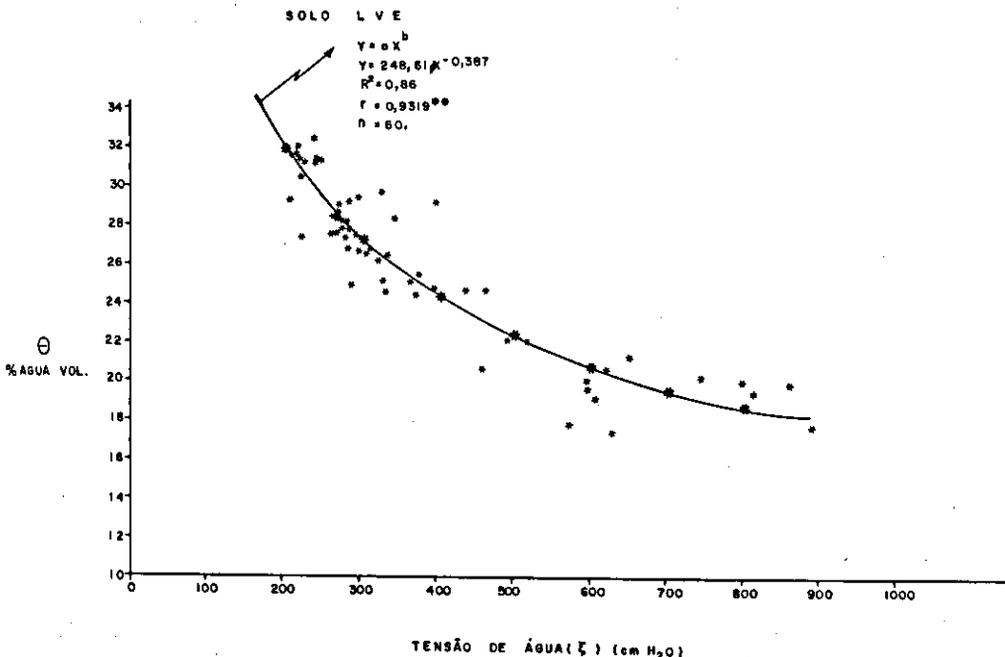


FIG. 1. Curva de calibração dos tensiômetros, relacionando conteúdo e tensão de água no solo.

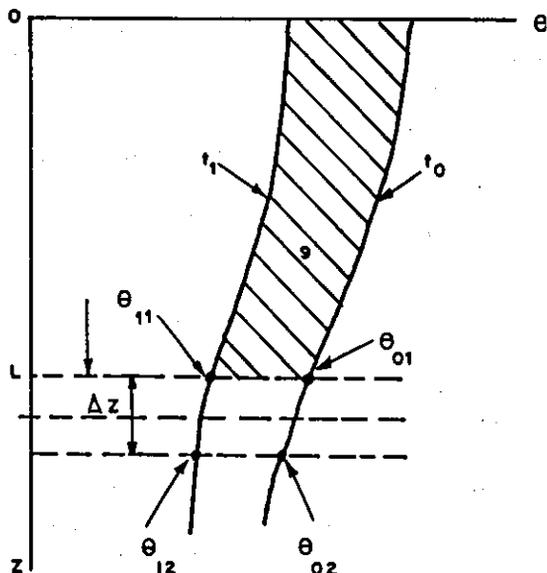


FIG. 2. Perfis de umidade do solo nos instantes  $t_0$  e  $t_1$  (Reichardt 1975).

testadas, aparecem nas Fig. 3 e Tabela 2.

Observa-se que, exceto para a densidade de 20.000 plantas/ha ( $D_1$ ), os diversos tratamentos mostram-se similares até os 70 dias após a emergência. Após este período, constatou-se uma diferenciação entre todas as densidades, sendo maior a evapotranspiração à medida que aumenta a densi-

dade de plantio. Esta diferença entre os tratamentos só foi evidenciada através do cálculo diário da evapotranspiração. Posteriormente, foram tiradas as médias dos valores diários, de acordo com diferentes períodos de irrigação do experimento. A falta de diferenciação entre os tratamentos no primeiro período de desenvolvimento da cultura pode ser explicada em função do escasso grau de cobertura do solo, o que fez com que as perdas por evaporação nas menores densidades de plantio equilibrassem as perdas por transpiração das populações mais elevadas. Mais tarde, passou a dominar o componente transpiração da cultura, dependente da área foliar, sobre o componente evaporação. Isto foi confirmado pela relação entre o índice de área foliar (IAF) apresentado pela cultura, no período de máximo desenvolvimento vegetativo e a evapotranspiração acumulada durante o período do experimento, como se observa na Fig. 4.

A Fig. 4 mostra que existe uma relação linear entre o IAF e a ET acumulada, indicando que, à medida que aumentou o grau de cobertura do solo, aumentou a evapotranspiração da cultura.

A Fig. 3 mostra também que existe uma relação entre a curva da evaporação do tanque classe "A" e os valores de evapotranspiração apresentados pelos diferentes tratamentos. Se se dispõe de evapo-

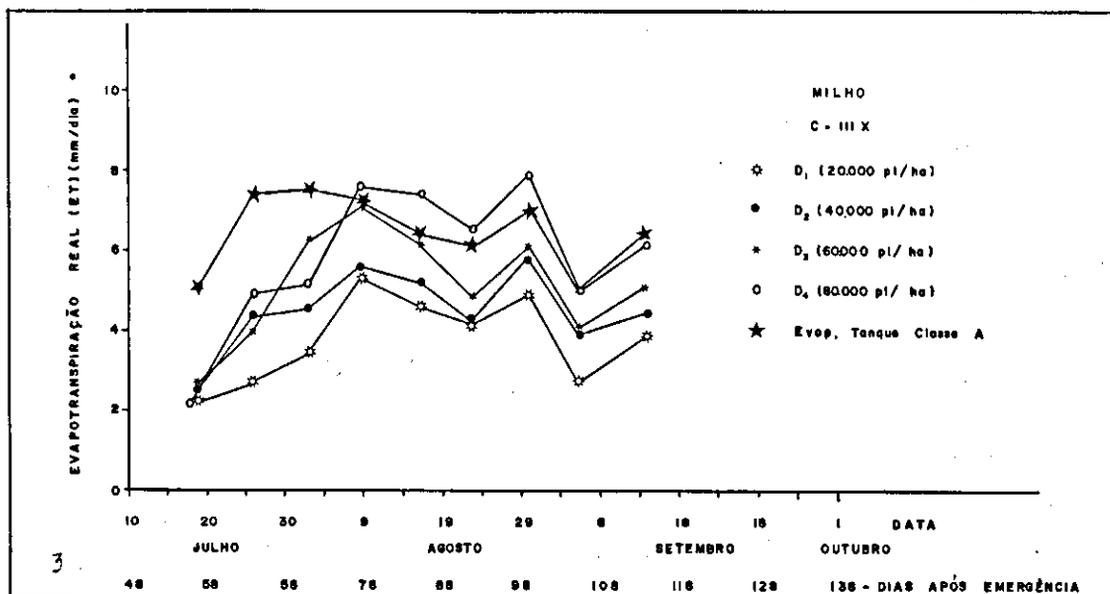


FIG. 3. Curva de evapotranspiração, determinada pelo balanço hídrico, das diferentes densidades de plantio através do ciclo da cultura.

TABELA 2. Valores médios diários de evapotranspiração (ET) (mm/dia) apresentados pelas diferentes densidades de plantio de milho, durante vários períodos de desenvolvimento da cultura.

Período	Data	Dias após emergência	Evapotranspiração (mm/dia)			
			D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
7	15.7-22.7	59	2,20	2,41	2,69	2,16
8	23.7-28.7	65	2,69	4,39	4,76	4,90
9	29.7	66	2,69	4,30	4,70	4,90
10	30.7-5.8	73	3,48	4,50	5,26	5,03
11	6.8-12.8	80	5,32	5,57	6,84	7,61
12	13.8-19.8	87	4,51	5,15	6,20	7,39
13	20.8-26.8	94	4,09	4,10	4,85	6,56
14	27.8-2.9	101	4,92	5,80	6,01	7,72
15	3.9-9.9	108	2,73	3,46	4,07	4,89
16	10.9-20.9	109	3,85	4,42	5,08	6,02

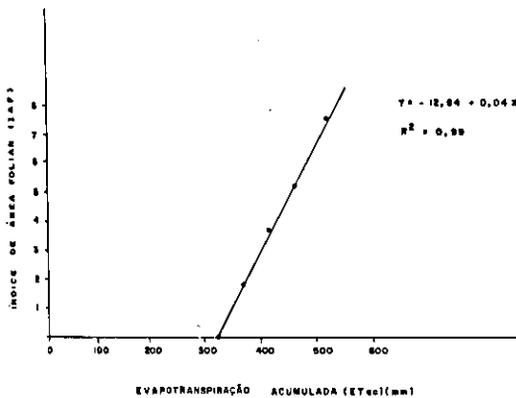


FIG. 4. Relação entre a evapotranspiração acumulada e o índice de área foliar (IAF).

ração do tanque classe "A" e se conhecem os coeficientes da cultura ( $K_c$ ), é possível então estimar a evapotranspiração das culturas, o que será útil, principalmente no cálculo das necessidades de irrigação.

Na Fig. 5, são mostrados os valores de  $K_c$ , obtidos no presente estudo.

Novamente parece que a maior densidade de plantio apresenta coeficientes elevados, chegando até um valor 1,38 para o período de 13 a 19 de agosto, no caso da densidade 80.000 plantas/ha, e de 0,83 para o mesmo período, no caso da densidade de 20.000 plantas/ha.

Esta informação confirma o fato já observado (Espinoza et al. Prelo) de que as menores densidades de plantio apresentam menor uso relativo da água presente no solo. Na Tabela 3 observam-se os coeficientes  $K_c$  para os nove períodos em que foram feitas as determinações no campo, e que revelam que os valores das médias ponderadas do  $K_c$  foram de 0,69, 0,81, 0,93 e 1,06 para as densidades D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub> e D<sub>4</sub>, respectivamente, no período de 60 dias, durante a fase reprodução e maturação da cultura.

Na Fig. 6 e na Tabela 4 aparece a evapotranspiração acumulada, obtida com os diferentes tratamentos de densidade de semeadura. Os valores de ET acumulada resultaram ser de 369,28, 299,88, 443,79 e 513,09 mm para as densidades D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub> e D<sub>4</sub>, respectivamente, o que dá uma média de evapotranspiração diária para todo o período de 2,64, 2,86, 3,17 e 3,66 mm/dia para as referidas densidades.

A prova de "t" de Student revelou que cada uma das curvas que aparecem na Fig. 6 foram significativamente diferentes entre si. Isto mostra novamente que as densidades mais elevadas de plantas consumiram mais água do solo.

Nas condições do presente estudo, em que a água não foi limitante para a cultura, a maior evapotranspiração, nas maiores densidades, não se refletiu nos rendimentos (Tabela 5). Em termos absolutos, não há grandes diferenças nas quantidades totais de ET acumulada entre os tratamentos.

Mas, se os resultados são expressados em termos de água evapotranspirada por planta, obtêm-se os seguintes resultados - que permitem visualizar melhor o efeito da população de plantas: 180, 104, 77 e 64 litros de água evapotranspirada por planta,

nas densidades  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  e  $D_4$ , respectivamente. Como não houve aumentos de rendimento com o aumento de densidade de plantio, as menores densidades são as mais convenientes, graças ao menor consumo de água.

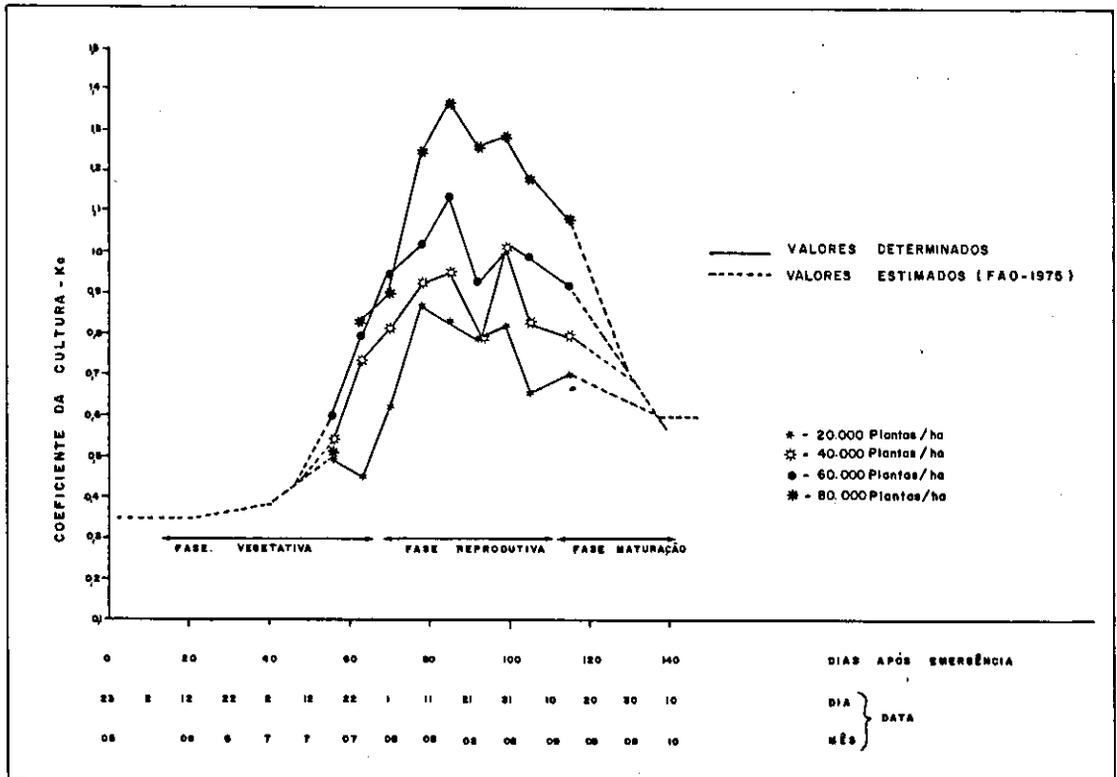


FIG.5. Coeficientes da cultura ( $K_c$ ), obtidos durante o ciclo da cultura para as diferentes densidades de plantio.

TABELA 3. Valores do coeficiente da cultura ( $K_c$ ), para diversos períodos durante o desenvolvimento da cultura.

Período	Data	Dias após emergência	$K_c$			
			$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$
7	16.7-22.7	59	0,46	0,51	0,57	0,46
8	23.7-28.7	65	0,42	0,70	0,75	0,77
9	29.7	66	0,42	0,70	0,75	0,77
10	30.7-5.8	73	0,62	0,81	0,95	0,95
11	6.8-12.8	80	0,87	0,92	1,17	1,25
12	13.8-19.8	87	0,83	0,95	1,14	1,37
13	20.8-26.8	94	0,79	0,79	0,93	1,26
14	27.8-3.9	101	0,83	1,01	1,01	1,29
15	3.9-9.9	108	0,66	0,83	0,98	1,18
16	10.9-20.9	119	0,70	0,80	0,92	1,09

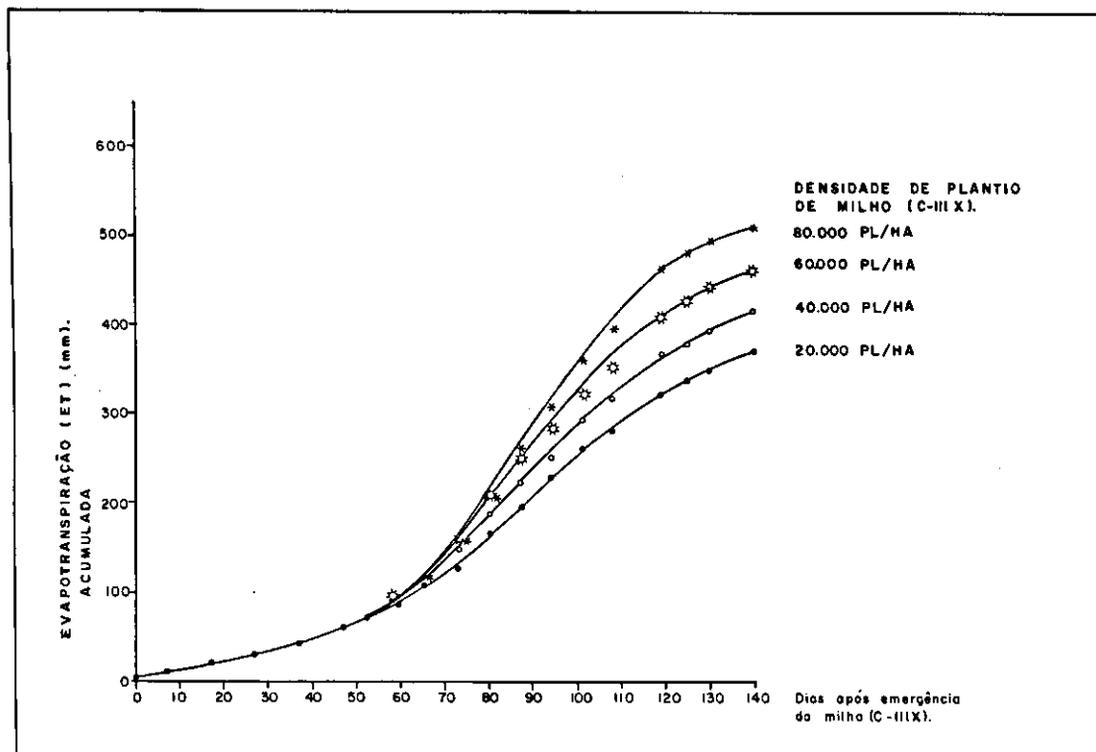


FIG. 6. Evapotranspiração acumulada (ET ac.) apresentada pelas diferentes densidades de plantio, em função do ciclo da cultura de milho.

TABELA 4. Valores de evapotranspiração (ET ac.) apresentados pelo híbrido C-111 X no seu ciclo de desenvolvimento.

Período	Data	ET Acumulada			
		D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
1	23.5-30.5	10,70	10,70	10,70	10,70
2	1.6-10.6	19,85	19,85	19,85	19,85
3	11.6-20.6	30,63	30,63	30,63	30,63
4	21.6-30.6	44,62	44,62	44,62	44,62
5	1.7-10.7	62,41	62,41	62,41	62,41
6	11.7-15.7	71,67	71,67	71,67	71,67
7	16.7-22.7	87,07	88,54	90,50	86,79
8	23.7-28.7	103,21	114,88	119,06	116,19
9	29.7	105,90	119,27	123,82	121,09
10	30.7-5.8	130,26	150,77	160,64	156,30
11	6.8-12.8	167,50	189,76	208,52	209,57
12	13.8-19.8	199,07	225,81	251,92	261,30
13	20.8-26.8	227,70	254,51	285,87	307,22
14	27.8-2.9	262,14	295,11	327,94	361,26
15	3.9-9.9	281,25	319,33	356,43	395,49
16	10.9-20.9	323,60	367,95	412,31	461,71
17	21.9-26.9	337,40	383,70	429,57	480,04
18	26.9-30.9	349,90	397,36	443,23	493,70
19	1.10-10.10	369,28	416,75	462,62	513,09

TABELA 5. Efeito da densidade de plantio sobre os rendimentos do milho C-111 X (14,5%) sob condições de irrigação.

Repetição	Rendimentos (kg/ha) <sup>a</sup>			
	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
I	4.327	4.029	4.903	3.817
II	3.971	4.646	4.353	4.513
III	3.926	4.298	4.309	4.065
$\bar{X}$	4.075	4.324	4.522	4.132

<sup>a</sup> Os tratamentos não diferiram estatisticamente a nível de 5% pelo teste de Duncan.

### CONCLUSÕES

1. A cultura de milho, plantada em diferentes densidades de plantio, apresenta valores significativamente diferentes, quanto à evapotranspiração média diária e acumulada. A evapotranspiração resultou maior à medida que aumentou a densidade de plantio, o que mostrou estar relacionada com o índice de área foliar das culturas.

2. Os coeficientes da cultura (Kc), foram normais e também variaram com a densidade de plantio, de maneira significativa. Quanto à evapotranspiração acumulada, o estudo revelou uma diferença de 143 mm entre a menor e a maior densidade de plantio utilizada no experimento. Contudo, esta diferença é bastante importante, se se considera que até 80 dias após a emergência, não se observaram diferenças entre os tratamentos.

3. Os resultados indicam que não há vantagens

no aumento da densidade, pois o maior consumo de água, nas densidades mais elevadas, não foi correspondido por aumentos de rendimento.

### REFERÊNCIAS

- BURTON, G.W. Crop management for improved water use efficiency. In: RUSSEL, M.B. Water and its relation to soils and crops reprinted from advances in agronomy. New York, Academic Press, 1959. V. 11, p. 104-9.
- ESPINOZA, W.; AZEVEDO, J. & BATISTA, R.L.A. Efeito da densidade de plantio e de irrigação suplementar sobre a resposta de três variedades de milho (*Zea mays* L.) ao déficit hídrico na região dos cerrados. Pesq. agropec. bras., Brasília, s.d. Prelo.
- KRALL, J.M.; ESECHIE, H.A.; RANEY, R.J.; CLARK, S.; TENEYCK, G.; LUNDQUIST, M.; HUMBURG, N.E.; AXTHELM, L.S.; DAYTON, A.D. & VANDERLIP, R.L. Influence of within-row variability in plant spacing on corn grain field. Agron. J., 69(5):797-9. 1977.
- LUCHIARI JÚNIOR, ARIIVALDO. Determinação do coeficiente da cultura (Kc) para feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) pelo método do balanço hídrico. São Paulo, ESALQ. 1978. 59 p. Tese Mestrado.
- PENDLETON, J.W. Increasing water use efficiency by crop management. In: PIERRE, W.H.; KIRKHAM, D.; PESEK, J. & SHAW, R. Plant environment and efficient water use. Madison, Wisc., American Society of Agronomy Soil Science Society of America, 1966. p. 236-55.
- PETERS, D.B. & RUSSEL, M.B. Relative water losses by evaporation and transpiration in field corn. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 23:170-3. 1959.
- REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo/planta/atmosfera. Piracicaba, CENA/Fundação Cargill, 1975. 286 p. Publicação Especial.
- SHUBECK, F.E. & YOUNG, H.G. Equidistant corn planting. Crops Soils., 22(6):12-4, 1970.
- WOLF, J.M. Water constraints to corn production in Central Brazil. Ithaca, N.Y., Cornell University, 1975. 199 p.