

SEÇÃO: AGRONOMIA

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA DO MILHO EM FUNÇÃO DA DEMANDA EVAPORATIVA ATMOSFÉRICA E DO CRESCIMENTO DAS PLANTAS

BERNADETE RADIN¹, HOMERO BERGAMASCHI², ANTONIO ODAIR SANTOS³, JOÃO ITO BERGONCI² e SOLANGE FRANÇA⁴

RESUMO - A alta sensibilidade da cultura do milho ao déficit hídrico, sobretudo durante o período de floração, exige conhecimento preciso das necessidades de água, para diversos campos de aplicação. Com o objetivo de quantificar a evapotranspiração ao longo do ciclo do milho, em diferentes condições atmosféricas, foi conduzido um trabalho de campo, de 1993/94 a 1996/97, na Estação Experimental Agronômica da UFRGS em Eldorado do Sul, RS, com o híbrido precoce (Pioneer 3230), semeado no final do mês de outubro, utilizando-se uma população de aproximadamente 67 mil plantas ha⁻¹. Foi medida a evapotranspiração máxima da cultura, através de lisímetro de pesagem, obtendo-se média de 656mm de água durante o ciclo da cultura, variando de 575 a 732mm entre os anos. Esta variação é atribuída, principalmente, à demanda evaporativa atmosférica. Houve variações também ao longo do ciclo da cultura, sendo a ETm baixa no início, aumentando com o crescimento do índice de área foliar, até um máximo próximo ao pendoamento, e diminuindo ao final do ciclo.

Palavras-chave: água, lisímetro, IAF.

EVAPOTRANSPIRATION OF CORN AS FUNCTION OF THE ATMOSPHERIC EVAPORATIVE DEMAND AND PLANT GROWTH

ABSTRACT - The high sensibility of maize crops to water deficits, mainly during the flowering period, makes necessary precise data in terms of water necessity, for several purposes of applications. With the objective to quantify the evapotranspiration throughout the maize crop cycle, at different atmospheric conditions, a field experiment was carried out from 1993/94 to 1996/97, at the Estação Experimental Agronômica of UFRGS, in Eldorado do Sul, Brazil. It was used an early hybrid (Pioneer 3230), sowed at the end of October, in a stand of around 67 thousands plants per hectare. The crop maize maximum evapotranspiration was measured in a weighing lysimeter, located in the center of a 0,54ha homogeneously cropped area. An average ETm of 656mm for the entire crop cycle was obtained, ranging from 575 to 732mm during the four-years period. This variation was attributed, mainly, to differences in the atmospheric evaporative demand. Variations in ETm throughout the crop cycle were also observed in a similar pattern, with minimum values at the beginning of the plant growth, increasing according to the leaf area index, up to maximum values during the flowering stages, and decreasing at the end of the crop cycle.

Key words: lysimeter, water, LAI.

¹ Eng^a Agr^a, Doutora, Pesquisadora da FEPAGRO Sede/SCT/RS. Rua Gonçalves Dias, 570. Bairro Menino Deus, Porto Alegre. CEP: 90130-060. radin@fepagro.rs.gov.br

² Eng. Agr., Doutor, Professor do Departamento de Forrageiras e Agrometeorologia da UFRGS. homerobe@ufrgs.br

³ Eng. Agr., Doutor, Pesquisador do IAC. odairsan@iac.br

⁴ Eng^a Agr^a, Doutora, Professora da Universidade de Santa Cruz, Ilhéus, BA.

INTRODUÇÃO

Tanto no Brasil como no Rio Grande do Sul, a cultura do milho ocupa lugar de destaque entre aquelas de maior importância econômica. No Brasil, o milho ocupou mais de 12 milhões de hectares na safra de 2001, sendo que no Estado do Rio Grande do Sul a área cultivada foi de 1,65 milhão de hectares (IBGE, 2002). Esta cultura possui um período de alta sensibilidade ao déficit hídrico, que engloba a floração e o início de enchimento de grãos (MATZENAUER et al., 2002). Este período é relativamente curto e, por este motivo, o milho é uma das culturas mais afetadas pelas restrições hídricas, que normalmente ocorrem nos meses de verão.

A precipitação pluvial anual é, na maioria dos casos, suficiente para grande parte das culturas agrícolas. Entretanto, estas podem estar sujeitas a excesso ou falta de água em seus períodos críticos, o que provoca a variabilidade anual da produção e redução nos índices produtivos de muitas regiões (EPPERSON et al., 1993). Para o Rio Grande do Sul, MATZENAUER et al. (2002) detectaram que, na maioria dos anos, a precipitação pluvial não é suficiente para atender à demanda hídrica do milho, principalmente durante os períodos críticos, podendo-se esperar reduções de rendimento de grãos em quatro de cada dez safras. Por isso, torna-se imprescindível o manejo adequado da água disponível, através de uma melhor definição de práticas culturais ou através de ajustes na quantidade de água a ser aplicada por irrigação.

No planejamento e manejo de sistemas de irrigação é importante conhecer a demanda hídrica da cultura e a época oportuna de irrigar, visto que ocorrem aumentos nos custos de produção e isto exige uso eficiente e racional da água. A necessidade hídrica de uma cultura é tecnicamente denominada de evapotranspiração, a qual considera a evaporação do solo mais a transpiração dos vegetais, também definida como a perda total de vapor d'água numa superfície vegetada, num dado período de tempo. A evapotranspiração máxima (ET_m) é a que se dá em uma cultura específica, com densidade de plantas e fertilidade do solo ótimas, crescendo em solo bem suprido de água, sob adequada bordadura e condições meteorológicas típicas (PERRIER, 1984; BURMAN e POCHOP, 1994).

A evapotranspiração máxima, determinada

em um certo local, é função das condições de umidade do solo, das condições meteorológicas ocorridas, bem como das características de crescimento e desenvolvimento das plantas. Assim, a disponibilidade hídrica às plantas depende da interação entre a demanda evaporativa da atmosfera e da disponibilidade hídrica no solo. Isto foi comprovado por DENMEAD e SHAW (1962), trabalhando com milho em Iowa (EUA), os quais determinaram totais diários de transpiração do milho em função da umidade do solo, para condições atmosféricas diferentes. Eles encontraram resultados bastante variáveis de acordo com a demanda evaporativa da atmosfera. Em dias nublados e com umidade do ar elevada, considerados de baixa demanda atmosférica, a transpiração foi baixa. Numa situação oposta, em dias claros e secos, considerados de alta demanda evaporativa da atmosfera, mesmo com elevada umidade no solo as plantas não conseguiram extraí-la numa taxa compatível com as suas necessidades. Isto pode ser resultado do fechamento temporário dos estômatos, devido a transpiração periestomática, para evitar o secamento das folhas.

A demanda evaporativa do ar é determinada pela radiação solar, velocidade do vento, umidade e temperatura do ar. Destes, a radiação solar é o elemento de maior importância, pois a evapotranspiração depende, fundamentalmente, da energia disponível para a mudança do estado físico da água (MATZENAUER et al., 1992). A temperatura do ar também se correlaciona positivamente com a evapotranspiração. Um aumento na temperatura do ar influi positivamente na densidade do fluxo de evaporação pois torna maior a quantidade de vapor d'água que pode estar presente no mesmo volume de ar, ao ser atingida a saturação (VIANELLO e ALVES, 1991). Portanto, ela tende a aumentar o déficit de saturação do vapor d'água no ar, bem como aumentar o déficit de pressão de vapor d'água entre a folha e o ar, ocasionando aumento da quantidade de água evaporada.

Alguns trabalhos demonstraram que a ET_m do milho, sem restrição hídrica, é baixa no início do desenvolvimento das plantas, atingindo valores máximos no início do pendoamento e diminuindo após a maturação dos grãos (DOSS et al., 1962; MATZENAUER et al., 1983). À medida que a cultura cresce e se desenvolve, aumenta a ET_m

devido ao aumento do IAF e à maior demanda evaporativa da atmosfera. O aumento da evapotranspiração com a área foliar é atribuído à transpiração crescente, haja visto que a evaporação do solo tende a diminuir devido ao sombreamento pelas plantas. Além disso, os maiores valores de ETm próximo ao pendoamento estão relacionados, também, à maior atividade fisiológica da cultura. Ao final do ciclo, ocorre redução da ETm devido ao declínio da atividade fotossintética das folhas, à redução da área foliar e à diminuição da demanda evaporativa da atmosfera (OLIVEIRA et al., 1993; MATZENAUER et al., 2002). No Estado do Rio Grande do Sul, a maior demanda evaporativa ocorre nos meses de dezembro e janeiro e, normalmente, coincide com o período de maior atividade fisiológica da cultura (MATZENAUER et al., 2002; FRANÇA, 1997).

O conhecimento da ETm é indispensável em projetos de irrigação, para o uso racional de fontes de água, para planejamento e monitoramento de culturas, pois ela representa a quantidade de água que deve ser repostada ao solo para manter o crescimento e o desenvolvimento em condições ideais. Além disso, muitos estudos que envolvem aptidão climática (como zoneamentos agrícolas) requerem precisão na determinação das necessidades de água das diversas culturas (SANTOS et al., 1994).

O presente trabalho teve como objetivo quantificar a evapotranspiração máxima da cultura do milho, ao longo do ciclo e sob diferentes condições de demanda atmosférica.

MATERIAL E MÉTODOS

Um experimento de campo foi conduzido nos anos agrícolas de 1993/94 a 1996/97, na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), em Eldorado do Sul, RS (latitude 30°05'S, longitude 51°39'W e altitude 40m), região climática da Depressão Central. O clima da região é subtropical úmido de verão quente do tipo fundamental "Cfa", conforme a classificação climática de Köppen, sendo a temperatura média mensal do período de crescimento de 23,5°C. A precipitação média anual é de 1440 mm (BERGAMASCHI et al., 2003).

Em todos os anos foram utilizadas sementes do híbrido precoce de milho Pioneer 3230, com população de aproximadamente 67.000 plantas por

hectare, utilizando-se espaçamento de 0,20m entre plantas e 0,75m entre linhas. As semeaduras foram realizadas nos dias 28 de outubro de 1993, 04 de novembro de 1994, 25 de outubro de 1995 e 29 de outubro de 1996.

A área ocupada pelo experimento tem 90 x 60m, no centro da qual havia um lisímetro de pesagem composto por uma caçamba metálica de 3,4m de comprimento, 1,5m de largura e 0,9m de profundidade, apoiada sobre uma balança de acionamento mecânico. Este sistema está instalado em um fosso de concreto e contém o mesmo solo do local, nivelado com o terreno. O equipamento permite medir a evapotranspiração com resolução de 0,1mm. Nos anos de 1993/94, 1994/95 e 1995/96 um observador fazia leituras diárias no lisímetro, às 9h local, através de régua de pesagem acoplada à balança. No ano de 1996/97 as pesagens eram registradas continuamente, através de uma célula de carga conectada a um "datalogger" (modelo CR10 – Campbell), conforme foi descrito por BERGAMASCHI et al. (1997). Instalado ao lado do experimento, este novo sistema também monitorava sensores de temperatura do ar, radiação solar global, umidade relativa do ar, velocidade do vento e precipitação pluvial.

Foi utilizado um sistema de irrigação por aspersão, constituído de uma linha de 12 aspersores colocados na direção longitudinal (leste-oeste) a 3m de altura e espaçados em 6m, na linha central do experimento, junto ao lisímetro. As irrigações eram realizadas sempre que necessárias, para manter a umidade do solo próxima à capacidade de campo, dentro e fora do lisímetro, a qual era monitorada através de tensiômetros.

Foi realizada análise de crescimento retirando-se amostras de plantas, semanalmente, desde oito dias após a emergência até a maturação fisiológica. Media-se a altura e a área foliar das plantas (com um integrador de área foliar LI-COR modelo LI 3000), determinando-se o índice de área foliar (IAF):

$$IAF = AF/S \quad (1)$$

em que AF é a área foliar (m²) e S a superfície do solo ocupado pela amostra (m²).

O cálculo da evapotranspiração máxima da cultura do milho (ETm) foi realizado através do balanço hídrico do solo, em lisímetro de pesagem, pela seguinte fórmula:

$$ETm_i = \frac{(M_i - M_{i+1})}{A} + P + I - D \quad (2)$$

sendo ETm_i (mm) a evapotranspiração da cultura no dia i considerado (em valores positivos), M_i a massa do sistema (solo + água + plantas) no dia i (Kg), M_{i+1} a massa do sistema no dia seguinte (Kg), P a precipitação pluvial (mm), I a irrigação (mm), D a drenagem (mm), e A a área do lisímetro ($5,1m^2$).

A evapotranspiração de referência (ETo) foi calculada, em base diária, segundo o método de PENMAN, da seguinte forma:

$$ETo = \frac{\left(\frac{s}{\gamma}\right)\left(\frac{Rn}{59}\right) + Ea}{\left(\frac{s}{\gamma}\right) + 1} \quad (3)$$

sendo s o coeficiente angular da curva que relaciona a pressão de saturação e a temperatura ($mmHg^{\circ}C^{-1}$); γ constante psicrométrica ($mmHg^{\circ}C^{-1}$); Rn o saldo de radiação em superfície gramada ($cal\ cm^{-2}\ dia^{-1}$); Ea o termo aerodinâmico, expresso por:

$$Ea = 0,35(es - e)(05 + 0,01U_2) \quad (4)$$

sendo es a tensão de saturação do vapor ($mmHg$); e a tensão real de vapor ($mmHg$); U_2 a velocidade do vento a 2m de altura ($milhas\ dia^{-1}$).

O saldo de radiação (Rn) foi estimado, em base diária, a partir da radiação solar global (Rs) pelo modelo (BERGAMASCHI et al., 2003):

$$Rn = - 18,81 + 0,69 Rs \quad (5)$$

sendo Rn e Rs expressos em $cal\ cm^{-2}\ dia^{-1}$, no período das 24 horas.

O coeficiente de cultura (Kc) foi obtido através da seguinte fórmula:

$$Kc = ETm/ETo \quad (6)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A precipitação pluvial acumulada e a média da radiação solar (Rs) de cada decêndio, durante o ciclo da cultura do milho e nos anos de 1993/94 a 1996/97 estão representadas na Figura 1. Do sexto ao nono decêndio do ciclo de 1993/94, ocorreu estiagem. Nesse período a radiação solar se manteve elevada, diminuindo após. No ano de 1994/95 a precipitação foi distribuída de modo a não caracterizar déficit hídrico prolongado ao longo do ciclo da cultura.

Em 1995/96, durante o período vegetativo da cultura do milho, houve estiagem entre 20 e 50 dias após a emergência (DAE) (terceiro ao quinto decêndio). Consequentemente, a radiação solar foi elevada nesse período. Durante o período experimental de 1996/97, houve estiagem já a partir do crescimento vegetativo, com algumas precipitações intercaladas. Porém, no subperíodo de pendramento a espigamento houve redução na quantidade e frequência de chuvas, o que se caracterizou como deficiência hídrica.

O consumo de água pela cultura sem déficit hídrico, ou seja, a evapotranspiração máxima (ETm) durante o ciclo da cultura e a evapotranspiração de referência (ETo), dos quatro anos, podem ser observados na Figura 2. Houve variações da ETm ao longo do ciclo do milho entre os diferentes anos. Essas variações podem ser atribuídas, principalmente, a diferenças na demanda evaporativa atmosférica (ETo), em função de variações de elementos meteorológicos que, além de determinarem a demanda evaporativa, também afetam o crescimento da cultura e a condutância estomática, ou seja, alteram a perda de vapor d'água das folhas para a atmosfera.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA DO MILHO EM FUNÇÃO DA DEMANDA EVAPORATIVA ATMOSFÉRICA E DO CRESCIMENTO DAS PLANTAS

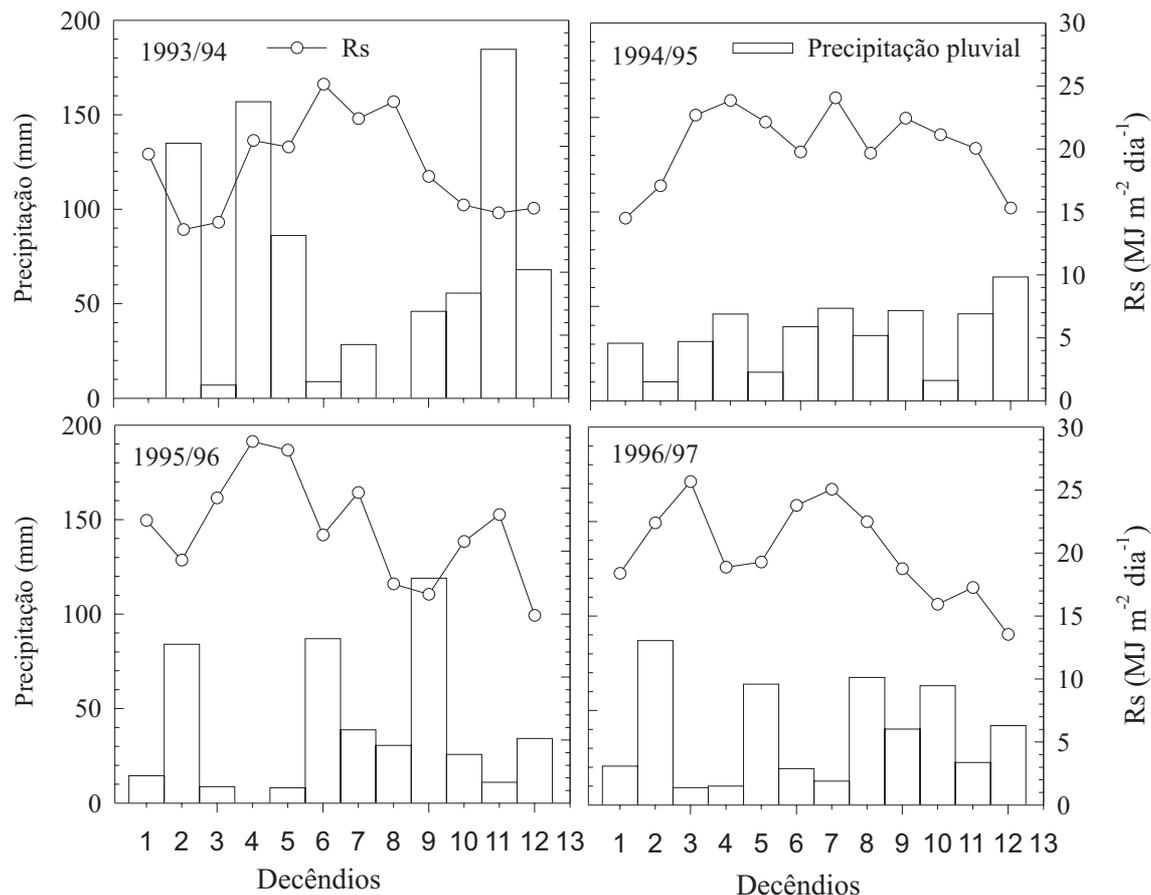
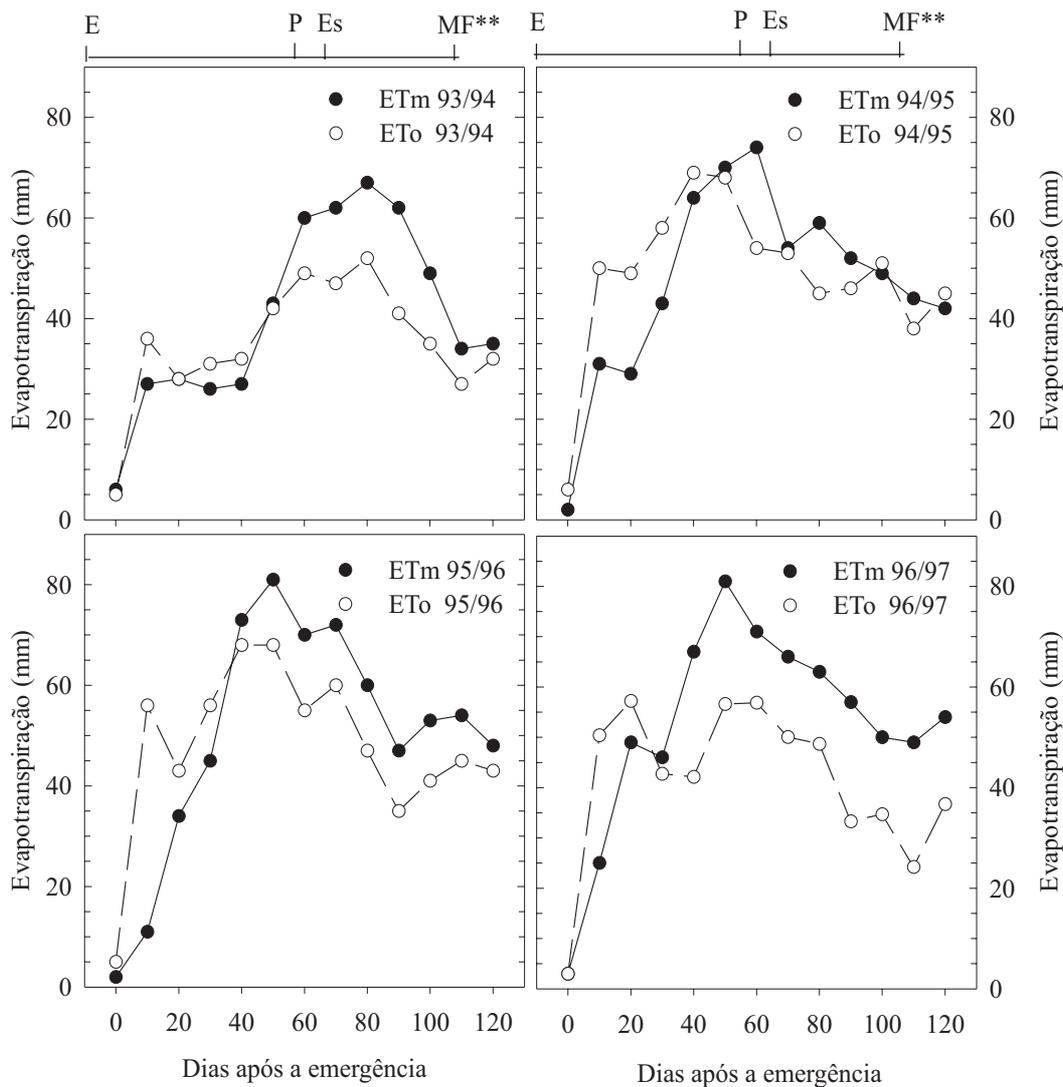


Figura 1. Médias decendiais de radiação solar global (Rs) e totais de precipitação pluvial nos períodos experimentais de 1993/94 a 1996/97. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul/RS.

No ano de 1993/94, até em torno de 50 DAE (próximo ao pendoamento), a ET_m foi mais baixa do que em outros anos (Figura 2). Nesse mesmo período ocorreu maior precipitação (Figura 1). Com isto, o céu permaneceu encoberto por mais tempo e, conseqüentemente, a ET_o foi baixa, provocando diminuição do fluxo transpiratório. Houve, portanto, maior evapotranspiração quando o fluxo de radiação solar foi mais elevado, embora a demanda hídrica da cultura também seja influenciada por outros fatores, além da radiação solar, inclusive características da própria vegetação, que interagem com o ambiente físico.

Através da Figura 3, pode-se observar dois dias (63 e 65 DAE) nos quais a radiação solar apresentou valores semelhantes. Porém, a ET_m foi de 8,3mm aos 63 DAE e 6,3mm aos 65 DAE. A diferença observada entre os dois dias pode ser atribuída a outros elementos meteorológicos que compõem a demanda atmosférica, pois nesses dias, o IAF era o mesmo. Os valores de temperatura e déficit de saturação (DS) aos 63 DAE se mantiveram superiores àqueles encontrados aos 65 DAE, durante todo o período, proporcionando uma maior ET_m aos 63 DAE.



**E= emergência; P= pendoamento; Es= espigamento; MF= maturação fisiológica.

Figura 2. Evapotranspiração máxima (ETm) e evapotranspiração de referência (ETo) ao longo do ciclo da cultura do milho (híbrido Pioneer 3230), em diferentes anos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul/RS.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA DO MILHO EM FUNÇÃO DA DEMANDA EVAPORATIVA ATMOSFÉRICA E DO CRESCIMENTO DAS PLANTAS

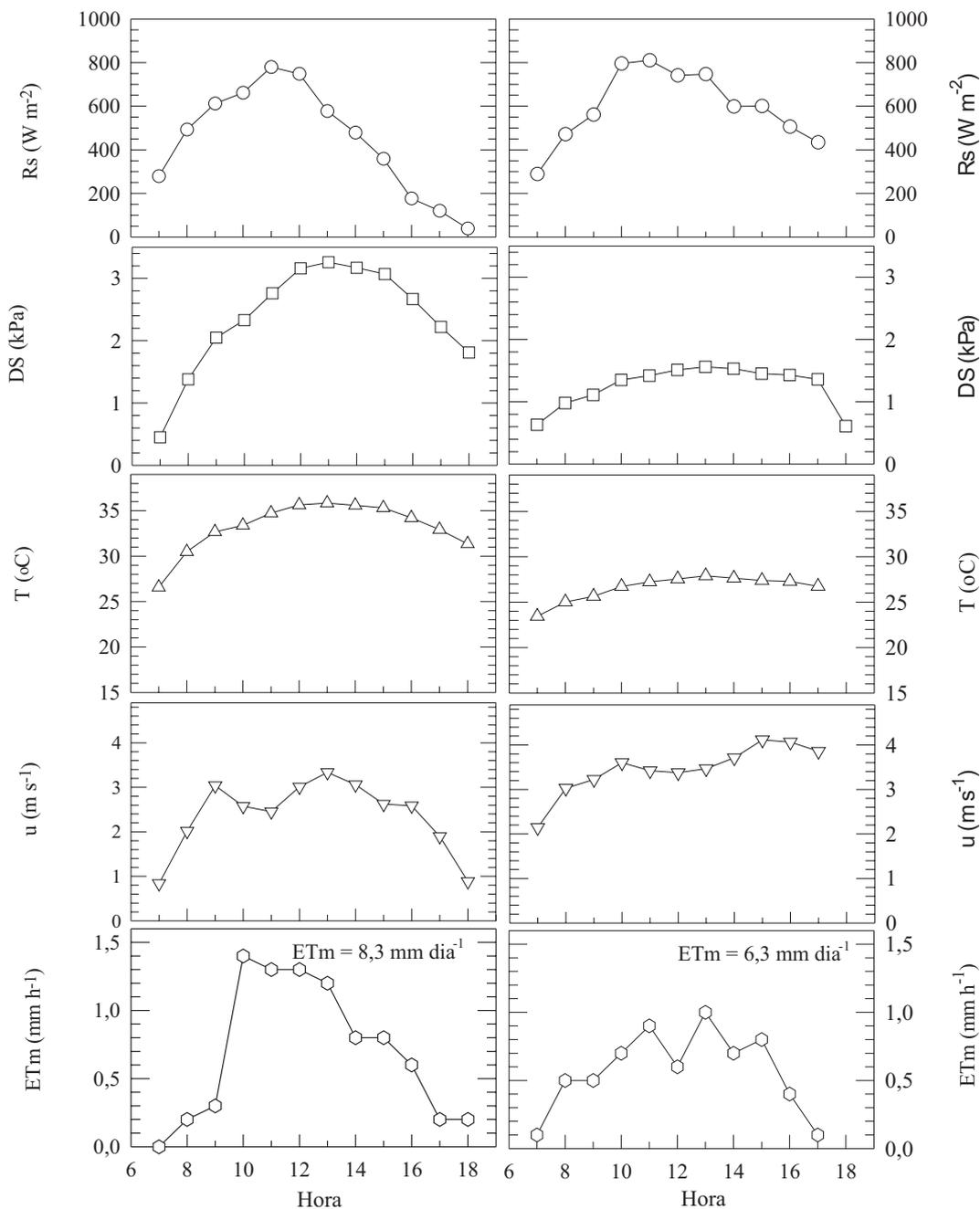


Figura 3. Radiação solar (R_s), déficit de saturação (DS), temperatura (T), velocidade do vento (u) e evapotranspiração máxima (ET_m) aos 63 (primeira coluna) e aos 65 dias após a emergência (segunda coluna). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul/RS. 1997.

No início do ciclo da cultura do milho a ET_o foi superior à ET_m (Figura 2 e Tabela 1). Os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência tendem a apresentar valores superiores aos de evapotranspiração máxima nas etapas iniciais do crescimento vegetativo e menores após a cultura atingir seu completo desenvolvimento. A superes-

timativa se deve à baixa transpiração, causada pela pequena área foliar, já que o cálculo da ET_o pressupõe uma superfície vegetada cobrindo totalmente o solo. Segundo MATZENAUER et al. (2002), para que se possa estimar a evapotranspiração máxima das culturas em diferentes anos, locais e épocas de semeadura, deve-se estabelecer rela-

ções entre a evapotranspiração máxima com algum valor de referência. Neste trabalho, calculou-se a relação entre a evapotranspiração máxima e a evapotranspiração de referência calculada pelo método de Penman. Essa relação se denomina coeficiente de cultura (Kc). Os menores valores de Kc foram no início do ciclo da cultura, desde a emergência até 30 dias após (terceiro decêndio). Desse subperíodo até 50% do pendoamento (sexto decêndio) ocorre aumento nos valores de Kc, pois com o aumento da área foliar (Figura 4A) aumenta também a ETm, que se torna superior à ETo quando o IAF for elevado (RADIN, 1998). LARCHER (2000) afirmou que a necessidade de água é aproximadamente proporcional à quantidade de fitomassa. Portanto, o maior consumo de água, quando as plantas encontravam-se com IAF elevado, pode ser atribuído à maior área transpirante, uma vez que a evaporação do solo tendeu a diminuir devido ao sombreamento das folhas. No subperíodo pendoamento-maturação leitosa (até nono decêndio), além do alto índice de área foliar e intensa atividade fisiológica, há também coincidência com o período de maior demanda evaporativa,

que no Estado do Rio Grande do Sul ocorre nos meses de dezembro e janeiro.

Os maiores valores de ETm e IAF foram encontrados próximo às fases de pendoamento e espigamento. Após este período, o IAF decresceu devido à senescência das folhas, causando diminuição da ETm (Figura 4B). Entretanto, é importante observar que, por exemplo, com um IAF de 3, no início do ciclo, a ETm foi aproximadamente o dobro daquela encontrada ao final do ciclo, com o mesmo IAF. Isto pode ser atribuído a que, no início, todas as folhas estavam transpirando e causavam pouco auto-sombreamento. Já no final do ciclo, também com IAF de 3, existem muitas folhas senescentes que, além de não mais transpirem, também provocavam redução da radiação solar, do vento e aumento da umidade do ar nas folhas fotossinteticamente ativas do interior do dossel, reduzindo-lhes a transpiração. JENSEN (1973) afirmou que, quando a cultura atinge a maturação fisiológica, a taxa de evapotranspiração decresce rapidamente, devido ao secamento dos órgãos das plantas.

Tabela 1. Evapotranspiração máxima (ETm) e evapotranspiração de referência (ETo), em mm dia⁻¹, e coeficiente de cultura (Kc) em decêndios após a emergência da cultura do milho (híbrido Pioneer 3230), média dos anos de 1993/94 a 1996/97. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.

Decêndios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ETm	2,58	3,50	4,00	5,78	6,88	6,88	6,18	6,23	5,45	5,03	4,53	4,48
ETo	5,08	4,45	4,48	5,18	5,55	5,40	4,83	4,93	3,98	3,78	3,67	4,00
Kc	0,5	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,3	1,3	1,4	1,3	1,2	1,1

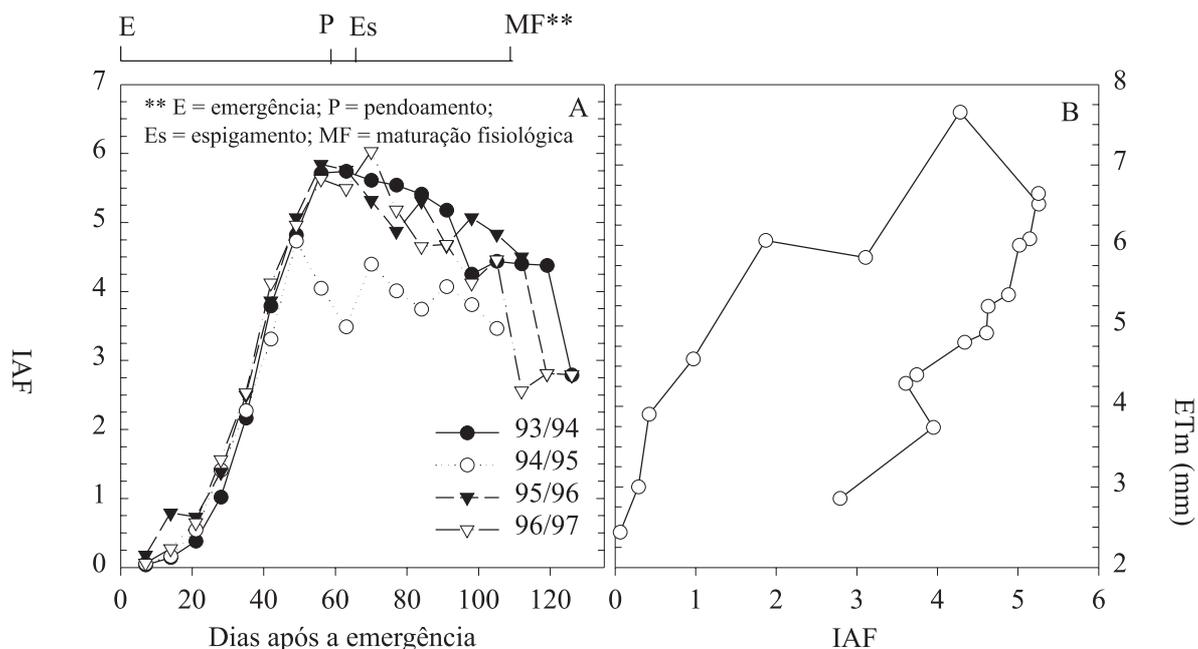


Figura 4. Índice de área foliar (IAF) em função de dias após a emergência (A) e evapotranspiração máxima (ETm) (B) da cultura do milho (híbrido Pioneer 3230) média dos anos de 1993/94 a 1996/97, em função do IAF. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul/RS.

A evapotranspiração média dos quatro anos foi menor no início do ciclo, com média de 2,58mm dia⁻¹, nos primeiros dez dias após a emergência, aumentando com o desenvolvimento da cultura e atingindo um valor médio máximo de 6,88mm dia⁻¹ próximo ao pendoamento e decrescendo na maturação (Tabela 1), devido à redução progressiva da transpiração no final do ciclo da cultura. Este valor máximo ficou próximo ao encontrado por

MATZENAUER et al. (1980), que foi de 7,0mm dia⁻¹, na média de quatro anos e na mesma região climática, mas com 50 mil plantas por hectare.

Da semeadura ao final do ciclo, o total de evapotranspiração da cultura do milho foi de 575, 622, 697 e 732mm e a evapotranspiração de referência foi de 567, 644, 689 e 620mm nos anos de 1993/94, 1994/95, 1995/96 e 1996/97, respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M.R.; CARDOSO, L.S.; SILVA, M.I.G da. **Clima da Estação Experimental da UFRGS (e região de abrangência)**. Porto Alegre: Gráfica da UFRGS, 2003. 77p.

BERGAMASCHI, H.; ROSA, L.M.G.; SANTOS, A.O. Automação de um lisímetro de pesagem através de estação meteorológica, a campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, Piracicaba, 1997. **Anais...** Piracicaba:ESALQ, 1997. p.222-224.

BURMAN, R.; POCHOP, L.O. **Evaporation, evapotranspiration and climatic data**. Amsterdam: Elsevier, 1994. 278p.

DENMEAD, O.T.; SHAW, R.H. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture and meteorological conditions. **Agronomy Journal**, Madison, v. 54. p. 385-90, 1962.

DOSS, B.D.; BENNET, O.L.; ASHLEY, D.A. Evapotranspiration by irrigated corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 54, p.497-498, 1962.

EPPERSON, J.E.; HOOK, J.E.; MUSTAFA, Y. Dynamic programming for improving irrigation scheduling strategies of maize. **Agricultural Systems**, Oxford, v.42, p.85-101, 1993.

FRANÇA, S. Modelagem do crescimento de milho em função da radiação solar e da temperatura do ar, com e sem irrigação. Porto Alegre: UFRGS, 1997. 75f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Programa de Pós-graduação em Agronomia, UFRGS. 1997.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Disponível em: <http://www.ibge.net> Acesso em setembro de 2002.

JENSEN, M.E. **Consumptive use of water and irrigation**

- water requirements.** New York: American Society of Civil Engineers, 1973. 215p.
- LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. Rima: São Carlos, 2000. 531p.
- MATZENAUER, R. Evapotranspiração de plantas cultivadas e coeficientes de cultura. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1992. p. 33-49.
- MATZENAUER, R. **Evapotranspiração do milho (*Zea mays* L.) e suas relações com fórmulas e parâmetros meteorológicos**. Porto Alegre, 1980. 128f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Programa de Pós-graduação em Agronomia, UFRGS, 1980.
- MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A. et al. **Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Fepagro, 2002. 105p. Boletim Técnico, n.10.
- MATZENAUER, R.; WESTPHALEN, S.L.; BERGAMASCHI, H. Relações entre a evapotranspiração do milho e as fórmulas de Penman e Thornthwaite. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18. n. 11, p. 1207-1214, 1983.
- OLIVEIRA, F.A.; SILVA, J.J.S.; CAMPOS, T.G.S. Evapotranspiração e desenvolvimento radicular do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.12, p.1407-1415, 1993.
- PERRIER, A. Updated evapotranspirations and crop water requirements definitions. In: INRA. **Les besoins en eau des cultures: crop water requirements**. Paris, 1984. 927p.
- RADIN, B. **Evapotranspiração máxima do milho medida em lisímetro e estimada pelo modelo de Penman-Monteith modificado**. Porto Alegre: UFRGS, 1998. 96f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Programa de Pós-graduação em Agronomia, UFRGS. 1998.
- SANTOS, A.O.; BERGAMASCHI, H.; CUNHA, G.R. Avaliação de métodos para a estimativa da evapotranspiração máxima de alfafa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.2, p.37-42, 1994.
- VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1991. 449p.