

RELAÇÕES ENTRE EVAPOTRANSPIRAÇÃO E RENDIMENTO DE GRÃOS DE MILHO¹

SANDRO L. P. MEDEIROS², SÉRGIO L. WESTPHALEN³, RONALDO MATZENAUER⁴
e HOMERO BERGAMASCHI⁵

RESUMO - Neste trabalho foi avaliada a possibilidade de prognosticar o rendimento de grãos de milho (*Zea mays*, L.) através das relações entre o rendimento relativo (rendimento real/rendimento máximo) e o índice evapotranspiração real/evapotranspiração máxima, em sete subperíodos e no ciclo, assim como identificar os períodos mais críticos à deficiência hídrica. Os dados foram obtidos na Estação Experimental de Taquari, Depressão Central do RS (latitude 29°48'15"S e longitude 51°49'30"W, altitude 76 m), em sete anos agrícolas e em diferentes épocas de semeadura. O subperíodo mais suscetível à deficiência hídrica foi o que compreendeu dez dias antes do pendoamento até dez dias após o final do espigamento. Para este subperíodo, o rendimento relativo (\hat{y}) pode ser estimado a partir do índice de evapotranspiração (x), através da equação $\hat{y} = 0,663 x^2 + 0,154 x + 0,223$, com coeficiente de determinação (r^2) de 0,74. Para o ciclo, pode ser usada a equação $\hat{y} = 1,611 x^2 + 1,220 x + 0,537$, embora com menor precisão ($r^2 = 0,53$). Nos subperíodos restantes, os graus de associação foram menores.

Termos para indexação: *Zea mays*, deficiência hídrica, períodos críticos.

RELATIONS BETWEEN EVAPOTRANSPIRATION AND GRAIN YIELD OF CORN (*ZEA MAYS*, L.)

ABSTRACT - A study was performed to evaluate the possibility of corn grain yield prediction through relations between the relative grain yield (actual yield/maximum yield) and the actual evapotranspiration/maximum evapotranspiration index, at seven growth stages and at all the crop cycle, as well as to identify the most critical periods to water deficits. The data were obtained at the experimental station of Taquari, in Depressão Central region of Rio Grande do Sul, Brazil (29°48'15" latitude, 51°49'30" longitude, and 76 m altitude), during seven growing seasons and at different sowing dates. It was shown that the most sensible period to water deficits was the one from ten days before tasseling to ten days after silking. For this period, the relation grain yield (\hat{y}) corn may be estimated from the equation $\hat{y} = 0,663 x^2 + 0,154 x + 0,223$, with a determination coefficient $r^2 = 0,74$. For all the crop cycle, the equation $\hat{y} = 1,611 x^2 + 1,220 x + 0,537$ corn may be used, although with less precision ($r^2 = 0,53$). For the other periods of the corn cycle, there was lower association between grain yield and water deficits.

Index terms: *Zea mays*, water deficits, critical periods.

INTRODUÇÃO

A cultura do milho ocupa, no estado do Rio Grande do Sul, uma área média de aproximadamente 1.600.000 ha, com um rendimento em torno de 1.600 kg.ha⁻¹, o que pode ser considerado muito abaixo das potencialidades da espécie. Em lavouras isoladas que adotam alta tecnologia, e em condições meteorológicas favoráveis, são obtidos rendimentos em torno de

¹ Aceito para publicação em 2 de outubro de 1990. Trabalho elaborado durante o estágio curricular do primeiro autor.

² Eng. - Agr., no Programa de Pós-Graduação em Agronomia/UFRGS, Professor do Dep. de Fitot., CCR/UFSM, CEP97119 Santa Maria, RS. Bolsista do CNPq.

³ Eng. - Agr., M.Sc., IPAGRO e Fac. Agronomia da UFRGS. Bolsista do CNPq.

⁴ Eng. - Agr., M.Sc., IPAGRO/Seção de Ecol. Agric. Bolsista do CNPq.

⁵ Eng. - Agr., Dr., Fac. Agronomia da UFRGS. Bolsista do CNPq.

10.000 kg.ha⁻¹. Por outro lado, não são poucos os relatos de lavouras frustradas em determinados períodos e anos, mesmo quando se utiliza toda a tecnologia recomendada, com exceção da irrigação.

As causas das variabilidades dos baixos níveis de rendimento de grãos podem ser atribuídos aos seguintes fatores: nível de tecnologia aplicada, aptidão climática e edáfica da região. Entre os fatores climáticos, o de maior influência é a chuva, pelos reflexos que determina sobre o suprimento hídrico que atua direta e indiretamente sobre o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

Mota et al. (1974) e Maluf et al. (1986) utilizaram a deficiência hídrica calculada a partir do balanço hídrico mensal para elaboração de zoneamentos climáticos da cultura. As variações observadas ano a ano na deficiência hídrica foram atribuídas principalmente à altitude e à distribuição das chuvas, nos períodos de maior sensibilidade da cultura.

Matzenauer & Sutili (1983) consideram a falta de água como fator mais limitante para obtenção de altos rendimentos de milho, quando as técnicas culturais recomendadas são adotadas.

As lavouras de milho do Rio Grande do Sul, com poucas exceções, não são irrigadas, ficando o rendimento final condicionado ao suprimento hídrico natural. Quando não ocorrem deficiências hídricas, principalmente durante os períodos considerados críticos, os rendimentos finais são satisfatórios.

De acordo com Aldrich et al. (1975), o milho requer uma grande quantidade de água, sendo uma das culturas mais eficientes na produção de matéria seca em relação à água que utiliza.

Na Depressão Central do Rio Grande do Sul, a evapotranspiração total do milho da semeadura à maturação fisiológica foi de 572,9 mm, na média de quatro anos, com pequenas variações (Matzenauer et al. 1981). Estas variações são decorrentes principalmente das variações da demanda evaporativa da atmosfera.

O total de água necessário para suprir a cultura durante o seu ciclo deve ser distribuído de forma a atender as exigências hídricas diferenciais nos diferentes subperíodos fenológicos. Segundo Azzi (1959), as necessidades hídricas dos vegetais variam de um subperíodo para outro. Estas necessidades crescem desde a embebição da semente, com valores muito baixos, até o ponto de máxima área foliar onde se tem o máximo da evapotranspiração. Segundo De Fina & Ravelo (1973), por um período crítico, a respeito de um certo elemento meteorológico (temperatura, chuva, etc.) deve-se entender que é um intervalo relativamente breve, durante o qual a planta apresenta a máxima suscetibilidade ao dito elemento. Durante os períodos críticos para a umidade, as deficiências de água diminuem o rendimento econômico mais do que em outros períodos.

Para Paterniani (1978), o efeito da falta de água sobre a produção de grãos é particularmente importante em três estádios de desenvolvimento da planta. O primeiro estádio refere-se à iniciação floral e desenvolvimento da inflorescência, quando o número potencial de grãos é determinado; o segundo refere-se ao período de fertilização, quando o potencial de produção é fixado; o terceiro é o do enchimento de grãos.

É considerado crítico para a cultura do milho o subperíodo que compreende o espigamento e o pendoamento. Denmead & Shaw (1960) concluíram que deficiência hídrica antes da emissão do estilo-estigma, no florescimento e na maturação, se refletiram em decréscimo da produção de 25%, 50% e 21%, respectivamente. Paterniani (1978) relatou que o milho é, provavelmente, uma das plantas mais sensíveis à falta de água durante o período de fertilização. Sabendo-se o valor desta deficiência, poder-se-iam estimar as possíveis perdas, bem como a necessidade de irrigação.

O rendimento máximo (potencial) obtido em uma região, em ótimas condições hídricas, pode ser relacionado com o rendimento obtido nas mais diferentes condições de cada ano, em

um determinado período, obtendo-se os rendimentos relativos para cada ciclo de uma cultura.

A relação entre o rendimento relativo e a evapotranspiração relativa (razão entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima) vem sendo utilizada em modelos de causa e efeito, entre disponibilidades energéticas e hídricas e o rendimento de grãos em recomendações, e no planejamento das culturas irrigadas (Chang 1968).

Uma vez estabelecida a curva de resposta entre a evapotranspiração relativa e o rendimento, é possível avaliar a eficiência da irrigação sobre o rendimento (Chang 1968), o que permite obter uma estimativa com e sem o uso de irrigação, a partir de dados do balanço hídrico.

Com o conhecimento do consumo de água do milho, em nível potencial ou com uma estimativa de boa precisão para tal, pode-se utilizar a relação evapotranspiração real/evapotranspiração máxima, calculada no balanço hídrico, para estabelecer a curva de resposta, eliminando-se parcialmente o inconveniente do efeito diferencial das deficiências hídricas sobre o crescimento e o rendimento das culturas, a um nível aceitável (Dorenboos & Kassam 1979). Quando a evapotranspiração real/evapotranspiração máxima (ETR/ET_{max}) for igual a 1, a cultura não sofreria deficiências hídricas, evapotranspirando o máximo naquelas condições, daquele momento. Para valores abaixo de 1, segundo o modelo de retenção de água no solo de Thornthwaite & Mather (1955), a cultura estaria sofrendo uma deficiência hídrica, pois as plantas não estariam evapotranspirando o máximo, naquelas condições. Isto quer dizer que a planta estaria tendo menor quantidade de água para realizar seus processos de crescimento e desenvolvimento.

O presente trabalho teve como objetivos: 1) avaliar as relações entre o rendimento de grãos e a evapotranspiração relativa, como subsídios para a irrigação, zoneamento agro-climático, planejamento racional da cultura irrigada e não-irrigada, em níveis adequados de tecnolo-

gia, e para previsão de rendimentos; 2) determinar os períodos de maior sensibilidade (críticos) da cultura do milho, dentro do sistema de produção adotado.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados na elaboração deste trabalho foram obtidos em experimentos conduzidos na Estação Experimental Fiotécnica de Taquari, da Secretaria de Agricultura e Abastecimento, localizada na região climática da Depressão Central, município de Taquari, com latitude 29°48'15" Sul, longitude 51°49'30" Oeste e 76 m de altitude. Os anos agrícolas utilizados foram: 1979/80, 1980/81, 1982/83, 1983/84, 1984/85, 1985/86, 1986/87. As combinações de anos e épocas de semeadura compreendem 24 ambientes, distribuídos da seguinte maneira: nove semeaduras em agosto, cinco semeaduras em setembro e dez semeaduras em outubro (Tabela 1).

A evapotranspiração da cultura foi estimada através da fórmula (Matzenauer et al. 1982):

$$ET_{\max} = \frac{K_c.R_s}{59}$$

sendo:

ET_{max} = evapotranspiração máxima da cultura (mm); K_c = índice que relaciona evapotranspiração máxima e radiação solar global (K_c = ET_{max}/R_s); R_s = radiação solar global (cal.cm⁻².dia⁻¹); 59 = Fator de transformação de cal.cm⁻² para mm de água evaporada.

Para cálculo do balanço hídrico, utilizou-se o método de Thornthwaite & Mather (1955), em base decendial, para uma capacidade de água disponível no solo de 50 mm, correspondendo a um perfil aproximado de 75 cm da unidade de mapeamento Rio Pardo.

A radiação solar global foi medida por actinógrafo Fuess, de rotação diária, modelo Robitzsch Nr. 58d, aferido, periodicamente, por piranômetro Eppley, instalado em uma estação agrometeorológica junto aos experimentos.

O índice ETR/ET_{max} foi obtido através da ponderação dos diferentes valores de ETR/ET_{max} para

os dias que compreenderam os subperíodos e os ciclos, segundo a fórmula:

$$I_p = \frac{\sum N_i \cdot I_i}{\sum N_i}$$

sendo: I_p = índice ponderado; I_i = ETR/ET_{\max} no decêndio i , N_i = número de dias abrangidos pelo decêndio i .

O índice ETR/ET_{\max} foi determinado para o ciclo e para os subperíodos abaixo relacionados:

- emergência a 30 dias após a emergência (EM-EM 30);
- 30 dias após a emergência ao início do pendoamento (EM 30-IP);
- início do pendoamento a 30 dias após o início do pendoamento (IP-IP 30);
- 30 dias após o início do pendoamento à maturação fisiológica (IP 30-MF);

- 10 dias antes do início do pendoamento a 10 dias após o final do espigamento (10 IP-FE 10);

- emergência ao início do pendoamento (EM-IP);

- início do pendoamento à maturação fisiológica (IP-MF);

- emergência à maturação fisiológica (EM-MF).

Neste trabalho, foi adotado o início do pendoamento (IP) como 10% do pendoamento, e final do espigamento (PE) como 75% do espigamento.

Para as análises de regressão, adotou-se o índice ETR/ET_{\max} como variável independente, o rendimento relativo como variável independente, e o rendimento relativo, como variável dependente. O rendimento relativo foi obtido pela divisão do rendimento observado pelo máximo rendimento obtido, o qual teve valor $9.369 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Tabela 1).

TABELA 1. Rendimento de grãos e relação entre rendimento relativo e a evapotranspiração máxima (ETR/ET_{\max}) para diferentes subperíodos e datas de semeadura de milho. Taquari, 1979/86.

| Semeadura | Rendimento de grãos | | Subperíodos | | | | | | | |
|-----------|---|----------|-------------|---------|---------|---------|-----------|-------|-------|-------|
| | Absoluto ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) | Relativo | EM-EM30 | EM30-IP | IP-IP30 | IP30-MF | 10IP-FE10 | EM-IP | IP-MF | EM-MF |
| 11-10-79 | 6.400 | 0,68 | 0,13 | 0,97 | 0,75 | 0,59 | 0,83 | 0,92 | 0,70 | 0,86 |
| 12-09-79 | 5.880 | 0,63 | 0,94 | 0,69 | 0,83 | 0,86 | 0,72 | 0,65 | 0,82 | 0,84 |
| 15-10-80 | 4.180 | 0,45 | 1,00 | 0,93 | 0,63 | 0,94 | 0,62 | 0,96 | 0,81 | 0,90 |
| 16-09-82 | 6.344 | 0,68 | 1,00 | 0,89 | 0,59 | 0,75 | 0,79 | 0,93 | 0,78 | 0,87 |
| 06-09-83 | 3.731 | 0,40 | 1,00 | 0,87 | 0,32 | 0,81 | 0,46 | 0,92 | 0,56 | 0,75 |
| 05-10-83 | 3.322 | 0,35 | 0,99 | 0,56 | 0,66 | 0,98 | 0,50 | 0,89 | 0,78 | 0,72 |
| 28-08-84 | 7.904 | 0,84 | 1,00 | 0,93 | 0,68 | 0,54 | 0,87 | 0,97 | 0,60 | 0,78 |
| 28-08-84 | 9.369 | 1,00 | 1,00 | 0,95 | 0,84 | 0,95 | 0,89 | 0,97 | 0,92 | 0,95 |
| 28-08-84 | 8.830 | 0,94 | 1,00 | 0,95 | 0,77 | 0,96 | 0,89 | 0,97 | 0,92 | 0,95 |
| 14-09-84 | 5.049 | 0,54 | 1,00 | 0,76 | 0,56 | 0,74 | 0,62 | 0,87 | 0,57 | 0,84 |
| 16-10-84 | 4.762 | 0,51 | 0,93 | 0,86 | 0,51 | 0,78 | 0,50 | 0,89 | 0,67 | 0,78 |
| 19-10-84 | 8.617 | 0,92 | 0,94 | 0,63 | 0,81 | 0,98 | 0,80 | 0,89 | 0,88 | 0,88 |
| 19-10-84 | 8.412 | 0,90 | 1,00 | 0,95 | 0,84 | 0,93 | 0,85 | 0,97 | 0,89 | 0,93 |
| 16-08-85 | 6.073 | 0,65 | 0,94 | 0,78 | 0,64 | 0,64 | 0,65 | 0,86 | 0,72 | 0,80 |
| 16-08-85 | 2.667 | 0,28 | 0,92 | 0,70 | 0,17 | 0,37 | 0,18 | 0,77 | 0,27 | 0,52 |
| 16-10-85 | 3.114 | 0,33 | 0,55 | 0,24 | 0,51 | 0,33 | 0,27 | 0,40 | 0,57 | 0,38 |
| 16-10-85 | 5.494 | 0,59 | 0,75 | 0,68 | 0,79 | 0,85 | 0,65 | 0,71 | 0,81 | 0,76 |
| 25-08-86 | 6.870 | 0,73 | 0,99 | 0,93 | 0,85 | 0,65 | 0,77 | 0,95 | 0,77 | 0,75 |
| 25-08-86 | 7.380 | 0,79 | 0,99 | 0,96 | 0,85 | 0,96 | 0,80 | 0,97 | 0,91 | 0,94 |
| 25-08-86 | 7.770 | 0,83 | 0,99 | 0,93 | 0,86 | 0,95 | 0,77 | 0,95 | 0,91 | 0,93 |
| 26-08-86 | 5.222 | 0,56 | 0,99 | 0,93 | 0,85 | 0,95 | 0,81 | 0,95 | 0,90 | 0,93 |
| 09-09-86 | 5.743 | 0,61 | 1,00 | 0,90 | 0,87 | 0,94 | 0,85 | 0,93 | 0,91 | 0,88 |
| 13-10-86 | 7.411 | 0,79 | 0,93 | 0,90 | 0,89 | 0,84 | 0,96 | 0,92 | 0,88 | 0,90 |
| 16-10-86 | 6.200 | 0,66 | 0,94 | 0,92 | 0,90 | 0,89 | 0,83 | 0,93 | 0,90 | 0,91 |

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentados resultados das análises de regressão, relacionando os parâmetros ETR/ET_{máx} e o rendimento relativo.

Segundo Markus (1962), para que a relação existente entre as duas variáveis seja conside-

rada estreita e útil nas aplicações de regressão deve ter, no mínimo, um coeficiente de correlação de 0,7, correspondendo a aproximadamente 50% de determinação. Com base nisto, apenas o ciclo total (Fig. 1) e três subperíodos poderiam ser utilizados para tais aplicações, sendo que o primeiro compreende dez dias

TABELA 2. Análise de regressão polinomial entre ETR/ET_{máx} (variável independente = x) e rendimento relativo (variável dependente = y), em diferentes subperíodos, e ciclo total da cultura do milho. Taquari, 1979/86.

| Subperíodo | Equação de regressão | r ² | F ¹ |
|----------------------|---|----------------|----------------|
| EM-EM30 ² | $\hat{y} = 0,174x + 0,493$ | 0,028 | 0,64 |
| | $\hat{y} = 1,412x^2 - 1,556x + 0,845$ | 0,131 | 1,57 |
| | $\hat{y} = -2,043x^3 + 5,116x^2 - 3,423x - 1,04$ | 0,138 | 1,06 |
| | $\hat{y} = 22,792x^4 - 60,849x^3 + 56,913x^2 - 20,690x + 2,535$ | 0,149 | 0,83 |
| | $\hat{y} = -28,352x^5 + 118,106x^4 - 182,083x^3 + 128,072x^2 - 38,955x - 3,952$ | 0,149 | 0,63 |
| EM30-IP | $\hat{y} = 0,624x + 0,138$ | 0,283 | 8,68** |
| | $\hat{y} = 0,586x^2 - 0,158x + 0,367$ | 0,298 | 4,45* |
| | $\hat{y} = 9,567x^3 - 17,343x^2 + 9,923x - 1,196$ | 0,362 | 3,79* |
| | $\hat{y} = 55,089x^4 - 134,534x^3 + 116,356x^2 - 40,903x + 5,119$ | 0,399 | 3,15* |
| IP-IP30 | $\hat{y} = 0,744x + 0,127$ | 0,485 | 20,72** |
| | $\hat{y} = 0,057x^2 + 0,677x + 0,144$ | 0,485 | 9,90** |
| | $\hat{y} = -4,722x^3 + 7,887x^2 - 3,17x + 0,654$ | 0,511 | 6,95** |
| | $\hat{y} = -26,347x^4 + 53,566x^3 - 37,1x^2 - 10,767x - 0,721$ | 0,544 | 5,66** |
| IP30-MF | $\hat{y} = -26,47x^5 + 47,136x^4 - 23,541x^3 + 0,553x^2 - 2,390x - 0,061$ | 0,544 | 4,30** |
| | $\hat{y} = 0,457x + 0,288$ | 0,184 | 4,98* |
| | $\hat{y} = -0,827x^2 + 1,601x - 0,07$ | 0,206 | 2,73 |
| | $\hat{y} = 12,933x^3 - 26,890x^2 + 18,034x - 3,234$ | 0,326 | 3,22* |
| 10IP-FE10 | $\hat{y} = -28,190x^4 + 89,371x^3 - 101,631x^2 + 48,993x - 7,76$ | 0,336 | 2,40 |
| | $\hat{y} = 0,863x + 0,045$ | 0,724 | 57,72** |
| | $\hat{y} = 0,603x^2 + 0,154x + 0,223$ | 0,741 | 30,10** |
| | $\hat{y} = -1,888x^3 + 3,856x^2 - 1,525x + 0,463$ | 0,748 | 19,81** |
| EM-IP | $\hat{y} = -7,470x^4 + 15,796x^3 - 10,775x^2 + 3,345x - 0,058$ | 0,753 | 14,45** |
| | $\hat{y} = -12,424x^5 + 28,673x^4 - 23,967x^3 + 9,634x^2 - 1,457x + 0,347$ | 0,753 | 10,99** |
| | $\hat{y} = 0,744x - 0,031$ | 0,254 | 7,49** |
| | $\hat{y} = 1,878x^2 - 1,949x + 0,890$ | 0,30 | 4,51* |
| IP-MF | $\hat{y} = 24,245x^3 - 49,625x^2 + 32,754x - 6,38$ | 0,428 | 4,99** |
| | $\hat{y} = -60,148x^4 + 200,18x^3 - 237,037x^2 + 118,264x - 20,322$ | 0,432 | 3,60** |
| | $\hat{y} = 0,812x + 0,029$ | 0,424 | 16,22** |
| | $\hat{y} = 0,561x^2 + 0,070x + 0,253$ | 0,434 | 8,04** |
| EM-MF | $\hat{y} = 7,111x^3 - 12,552x^2 + 7,495x - 0,98$ | 0,467 | 5,84** |
| | $\hat{y} = 112,983x^4 - 279,483x^3 + 247,233x^2 - 90,521x + 11,596$ | 0,521 | 5,16** |
| | $\hat{y} = 1,034x - 0,198$ | 0,489 | 21,09** |
| | $\hat{y} = 1,661x^2 - 1,220x + 0,537$ | 0,530 | 11,86** |
| | $\hat{y} = -0,586x^3 + 2,831x^2 - 2,028x + 0,703$ | 0,530 | 7,53** |
| | $\hat{y} = 69,335x^4 - 189,383x^3 + 189,183x^2 - 80,853x + 12,684$ | 0,560 | 6,03** |
| | $\hat{y} = 73,104x^5 - 180,456x^4 + 144,593x^3 - 27,981x^2 - 12,351x + 4,321$ | 0,564 | 4,68** |

¹ * Significativo ao nível de 5%; ** Significativo ao nível de 1%.

² EM = Emergência; EM30 = 30 dias após a emergência; IP = início do pendoamento; IP30 = 30 dias após o início do pendoamento; MF = maturação fisiológica; 10IP = 10 dias antes do início do pendoamento; FE10 = 10 dias após o final do espigamento

antes do início do pendoamento até dez dias após o final do espigamento (Fig. 2), o segundo compreende o início do pendoamento até 30 dias após o início do pendoamento (Fig. 3) e o terceiro compreende o início do pendoamento até a maturação fisiológica (Fig. 4).

As Fig. 1 a 8 mostraram que a tendência de resposta da cultura ao déficit hídrico se deu segundo uma função quadrática. Assim sendo, somente o ciclo total (Fig. 1) e o subperíodo 10 IP-FE 10 (Fig. 2) apresentam associação biologicamente coerente e com elevados coeficientes de determinação para a função quadrática. Nos subperíodos restantes, apesar de algumas apresentarem coeficiente de determinação acima de 0,5, as funções correspondentes são de difícil explicação, talvez em decorrência de efeitos interativos de outros fatores.

O subperíodo 10 IP-PE 10 (Fig. 2) apresentou maior coeficiente de determinação, sugerindo que este foi o subperíodo no qual a cultura foi mais sensível à deficiência hídrica, em termos de rendimento. Matzenauer et al. (1981) determinaram, em Taquari, RS, ser este também o subperíodo de maior consumo de água no milho, da ordem de 7 mm.dia^{-1} do pendoamento ao espigamento.

Além do melhor grau de associação, a função correspondente ao subperíodo 10 IP-FE 10 apresenta outra vantagem importante, pois pode permitir uma estimativa de rendimento com cerca de 35 dias de antecedência, em comparação à do ciclo total. A margem de segurança para o acerto da estimativa é também maior, em relação aos demais subperíodos, além do ciclo total.

Outra aplicação da função que corresponde ao subperíodo 10 IP-FE 10 seria em projetos de irrigação. Se, em determinado local, o normal é ter uma relação $\text{ETR}/\text{ET}_{\text{máx}}$ igual a 0,5 e, através da irrigação, deseja-se elevar esta relação para 0,9 ou 1,0, poder-se-á, com o auxílio da equação de regressão, obter uma estimativa do rendimento esperado, nas condições da região, e verificar se o incremento de rendimento supera o investimento usado para alcançá-lo, isto é, se haverá lucro na aplicação de tal tecnologia.

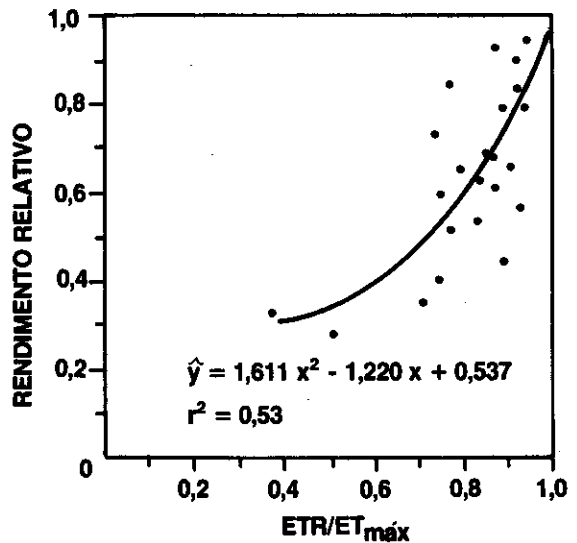


FIG. 1. Relação entre o rendimento relativo e a razão evapotranspiração real/evapotranspiração máxima ($\text{ETR}/\text{ET}_{\text{máx}}$) de milho, para o ciclo total. Taquari, 1979/86.

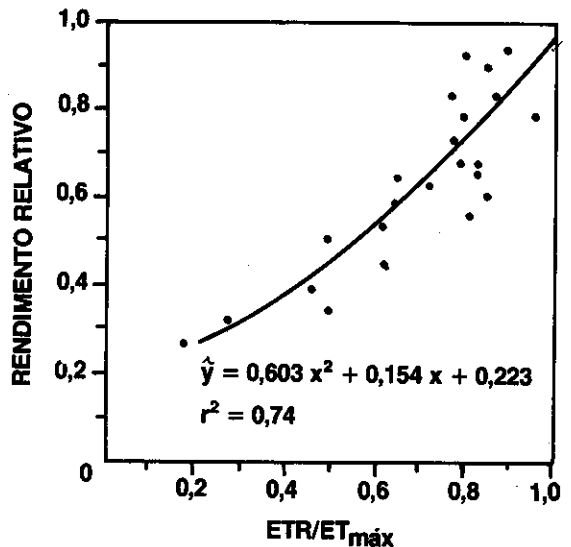


FIG. 2. Relação entre o rendimento relativo e a razão evapotranspiração real/evapotranspiração máxima ($\text{ETR}/\text{ET}_{\text{máx}}$) de milho, para o subperíodo 10 dias antes do início do pendoamento a 10 dias após o espigamento. Taquari, 1979/86.

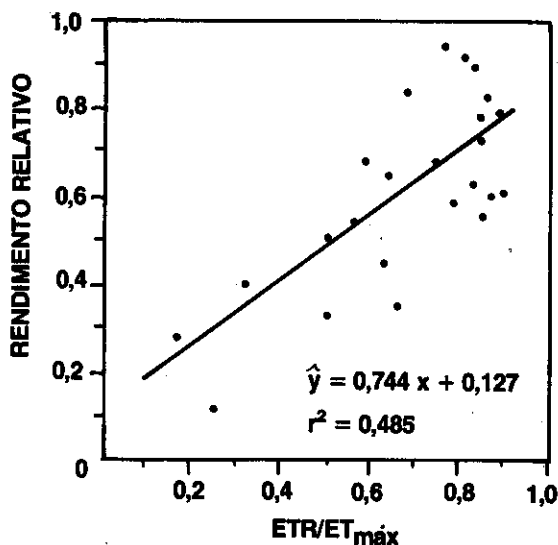


FIG. 3. Relação entre o rendimento relativo e a razão evapotranspiração real/evapotranspiração máxima ($ETR/ET_{m\acute{a}x}$) de milho, para o subperíodo início do pendoamento a 30 dias após o início do pendoamento. Taquari, 1979/86.

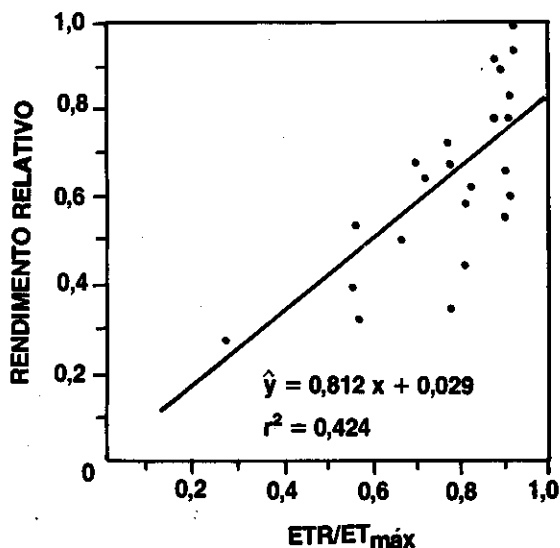


FIG. 4. Relação entre o rendimento relativo e a razão evapotranspiração real/evapotranspiração máxima ($ETR/ET_{m\acute{a}x}$) de milho, para o subperíodo início do pendoamento à maturação fisiológica. Taquari, 1979/86.

A duração média do subperíodo 10 IP-FE 10 foi de 26 dias, ou seja, duração um pouco superior à duração normal de um período crítico, para os critérios De Fina & Ravelo (1973), cuja duração de um período crítico estaria ao redor de três semanas.

Robins & Domingo (1953) determinaram reduções na produção de 22% e 50% para os períodos de um a dois e seis a oito dias de deficiência hídrica, respectivamente, durante o período de polinização do milho. Paterniani (1978) citou que provavelmente a deficiência de água neste período se reflete na desidratação dos grãos de pólen ou alternativamente impede o desenvolvimento do tubo polínico e mesmo a sua penetração, caso os estigmas se apresentem murchos. Outra causa provável desta redução seria a defasagem existente entre o pendoamento e o espigamento, pois sabe-se que as plantas de milho submetidas ao estresse hídrico retardam o espigamento, mas o pendoamento não fica afetado. Isto faz com que a viabilidade do pólen diminua tanto mais quanto maior a duração desta defasagem. Vozdarski & Zinevich (1963), citados por Paterniani (1978), mostraram que a falta de água pode provocar um retardamento do desenvolvimento da espiga.

A função correspondente ao ciclo total (Fig. 1) também poderia ser usada na estimativa de rendimento, mas apresenta maior dispersão dos pontos, provavelmente devido à maior duração deste período, ficando, conseqüentemente, o rendimento, mais exposto à ação de um ou mais fatores do meio, cujos efeitos seriam menores em períodos mais curto, como é o subperíodo 10 IP-FE 10. A longa duração do ciclo, que abrange os demais subperíodos, torna difícil tirar conclusões a respeito. Isto porque são abrangidas etapas nas quais a cultura não é tão sensível às deficiências hídricas, como, por exemplo, o crescimento vegetativo e, também, períodos em que as deficiências provocam o comprometimento do rendimento, como o pendoamento-espigamento. Apesar de o período vegetativo não ter grande influência no rendimento final, sabe-se que é importante,

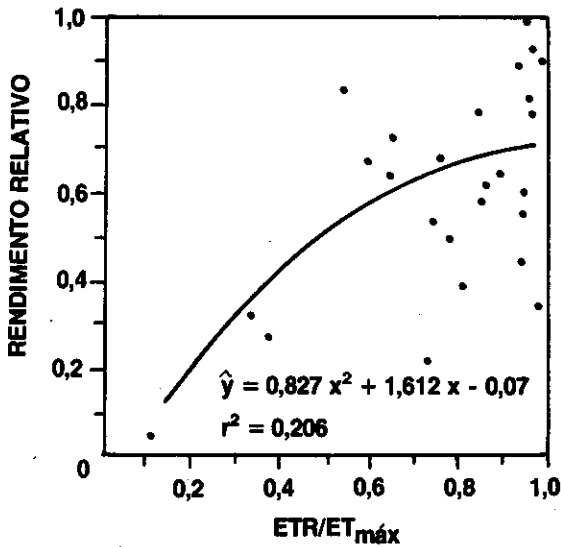


FIG. 5. Relação entre o rendimento relativo e a razão evapotranspiração real/evapotranspiração máxima ($ETR/ET_{m\acute{a}x}$) de milho, para o subperíodo 30 dias após o início do pendoamento à maturação fisiológica. Taquari, 1979/86.

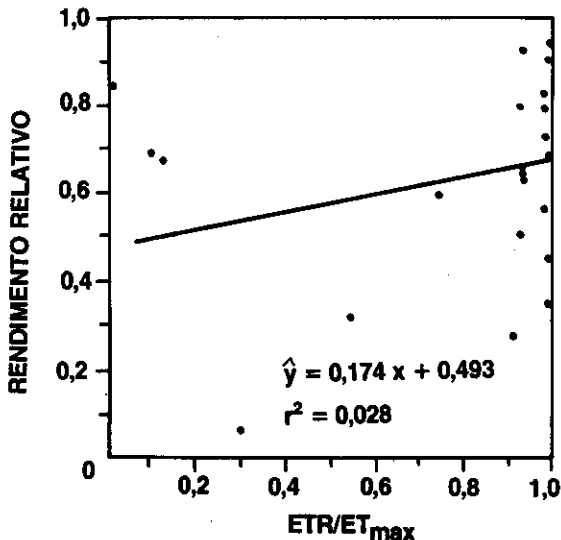


FIG. 6. Relação entre o rendimento relativo e a razão evapotranspiração real/evapotranspiração máxima ($ETR/ET_{m\acute{a}x}$) de milho, para o subperíodo emergência a 30 dias após a emergência. Taquari, 1979/86.

pois é quando se forma a área foliar, que será responsável pelo acúmulo de fotossintatos, que serão posteriormente translocados para os grãos.

Na Fig. 1, observa-se que, além da maior dispersão de pontos em relação à Fig. 2, para um valor de $ETR/ET_{m\acute{a}x}$ menor que 0,7, só existem dois pontos experimentais, o que diminui a segurança na aplicação da equação para valores de $ETR/ET_{m\acute{a}x}$ abaixo 0,7. Outra desvantagem é que a estimativa de rendimento só pode ser obtida após as plantas terem terminado o ciclo.

Outros dois subperíodos, IP-IP 30 (Fig. 3) e IP-MF (Fig. 4), também apresentaram coeficientes de determinação superior a 0,50, porém as funções correspondentes aos coeficientes altos parecem biologicamente ilógicas. O subperíodo IP-IP 30 está incluído no subperíodo IP-MF e, apesar de as funções se mostrarem impróprias para uso em estimativa de rendimento, são subperíodos importantes na produção, pois as restrições hídricas nestes períodos afetam a fotossíntese, reduzindo o rendimento final. A maior parte destes dois subperíodos faz parte do enchimento de grãos. Tanaka & Yamaguchi (1977) concluíram que mais de 90% do peso dos grãos se derivam dos fotossintatos produzidos durante o enchimento dos grãos e que são translocados diretamente a eles; portanto, a produção de matéria depois da emissão dos estigmas é importante para a produção dos grãos.

Já Paterniani (1978) relata que a influência da falta de água durante o período de deposição de matéria seca nos grãos é exercida pelo seu efeito sobre o processo da fotossíntese, particularmente nas folhas. A redução na fotossíntese durante a pós-antese poderá afetar o peso dos grãos. Logo, uma deficiência de água neste período deverá reduzir o peso final dos grãos, apesar do baixo grau de associação observado.

Quando são comparados os subperíodos 10 IP-FE 10 (Fig. 2) com os subperíodos IP-IP 30 (Fig. 3) e IP-MF (Fig. 4), observa-se que existe uma diferença na duração destes, sendo

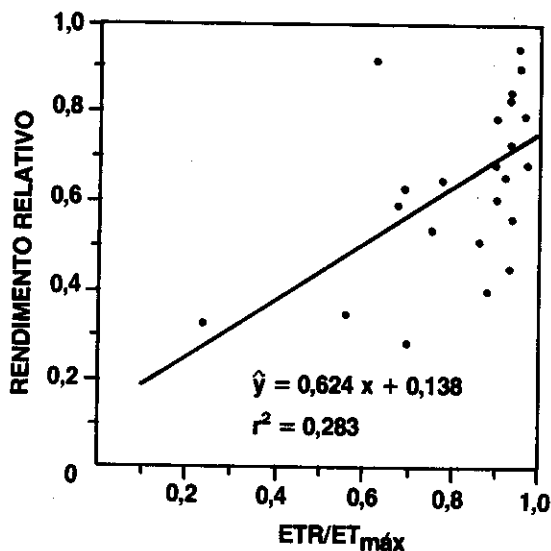


FIG. 7. Relação entre o rendimento relativo e a razão evapotranspiração real/evapotranspiração máxima (ETR/ET_{máx}) de milho, para o subperíodo 30 dias após a emergência ao início do pendoamento. Taquari, 1979/86.

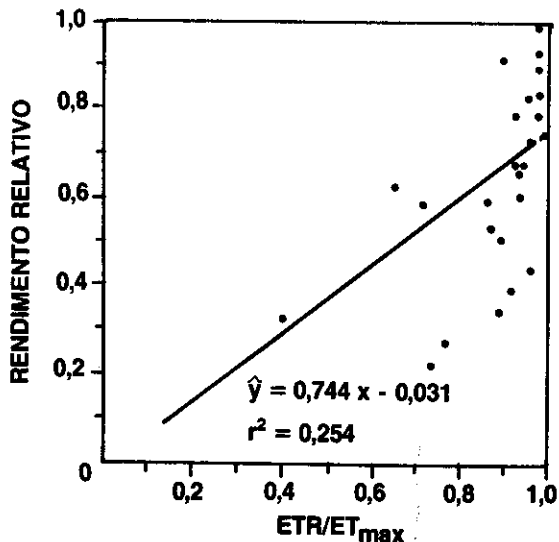


FIG. 8. Relação entre o rendimento relativo e a razão evapotranspiração real/evapotranspiração máxima (ETR/ET_{máx}) de milho, para o subperíodo emergência ao início do pendoamento. Taquari, 1979/86.

que os dois últimos são de maior duração que o primeiro, e que estes compreendem quase todo o subperíodo 10 IP-PE 10. Comparando-se os coeficientes de determinação, nota-se que o do subperíodo 10 IP-FE 10 é bem maior. Uma das possíveis causas disto poderia ser o efeito durante os dez dias que antecedem o início do pendoamento. Então, as condições que ocorrem neste período devem influenciar a formação do grão-de-pólen, de maneira que se forem muito severas podem prejudicar o rendimento final da lavoura.

Em termos de aplicação, por exemplo, no caso de obter-se um índice ETR/ET_{máx} igual a 0,5 no subperíodo de dez dias antes do pendoamento a dez dias após o final do espigamento, poder-se-á estimar o rendimento esperado, através da equação de regressão (Fig. 2), chegando-se a um valor de 4.126 kg.ha⁻¹, desde que utilizadas as demais tecnologias recomendadas pela pesquisa.

CONCLUSÕES

1. O subperíodo fenológico do milho mais sensível à deficiência hídrica foi o que abrangeu o período entre dez dias antes do pendoamento até dez dias após o final do espigamento. As deficiências hídricas neste subperíodo acarretam acentuados e irreversíveis decréscimos de rendimento.

2. Através da equação de regressão $\hat{y} = 0,603x^2 + 0,154x + 0,223$ do subperíodo de dez dias antes do início do pendoamento até dez dias após o final do espigamento, pode-se estimar o rendimento de grãos de milho, com 35 dias de antecedência, para localidades ecologicamente semelhantes a Taquari (leste da Depressão Central), com uma precisão ao redor de 75%.

3. O suprimento hídrico adequado (ETR/ET_{máx} 0,8) durante o subperíodo de dez dias antes do pendoamento a dez dias após o espigamento determinaram a obtenção de rendimentos de grãos mais elevados. O emprego da irrigação ficará condicionado às relações de custo-benefício obtidas.

4. Equação de regressão do ciclo $\hat{y} = 1,611x^2 + 1,120x + 0,537$ também pode ser utilizada para estimar o rendimento, porém com estimativa menos precisa e somente após a maturação fisiológica.

5. Nos demais subperíodos, as relações entre evapotranspiração relativa e o rendimento relativos apresentaram grau de associação menor pela sensibilidade destes subperíodos ao fator água e pela maior influência das interações entre fatores ecológicos e subperíodos envolvidos.

REFERÊNCIAS

- ALDRICH, S.R.; SCOTT, W.O.; LENG, E.R. **Modern Corn Production**. 2.ed. Champaign: A & L Publication, 1975. 378p.
- AZZI, G. **Ecologia Agrária**. Barcelona: Salvat, 1959. 526p.
- CHANG, J.H. **Climate and Agriculture; an Ecological Survey**. 3.ed. Chicago: Aldine Publishing Co., 1968. 304p.
- DE FINA, A.L.; RAVELO, A.C. **Climatología y Fenología Agrícola**, Buenos Aires: Universitaria, 1973. 351p.
- DENMEAD, O.T.; SHAW, R.H. The Effects of Soil Moisture Stress at Different Stages of Growth on the Development and Yield of Corn. **Agronomy Journal**, v.52, n.5, p.272-274, 1960.
- DORENBOOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield Response to Water**. Roma: FAO, 1979. 193p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 33).
- MALUF, J.R.T.; MATZENAUER, R.; WESTPHALEN, S.L.; CUNHA, G.R.; SUTILI, V.R. Zoneamento Agroclimático da Cultura do Milho para o Estado do Rio Grande do Sul. **Agronomia Sulriograndense**, v.22, n.2, p.261-285, 1986.
- MARKUS, R. **Estatística**. Porto Alegre: UFRGS, 1962. 107p.
- MATZENAUER, R.; SUTILI, V.R. A água na cultura do milho. **IPAGRO INFORMA**, n.26, p.17-32, 1983.
- MATZENAUER, R.; WESTPHALEN, S.L.; BERGAMASCHI, H. Relações entre a Evapotranspiração do Milho (*Zea mays*, L.), Radiação Global e Saldo de Radiação. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.17, n.2, p.1051-1056, 1982.
- MATZENAUER, R.; WESTPHALEN, S.L.; BERGAMASCHI, H.; SUTILI, V.P. Evapotranspiração do Milho (*Zea mays*, L.) e sua relação com o Tanque Classe "A". **Agronomia Sulriograndense**, v.17, n.2, p.273-295, 1981.
- MOTA, F.S. da; BEIRSDORF, M.I.C.; ACOSTA, M.J.C.; MOTTA, W.A.; WESTPHALEN, S.L. **Zoneamento Agroclimático do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Pelotas: IPEAS, 1974. (Circula 50, v.2).
- PATERNIANI, E. **Melhoramento e Produção de Milho no Brasil**. São Paulo: Fundação Cargill, 1978. 650p.
- ROBINS, J.S.; DOMINGO, C.E. Some Effects of Severe Soil Moisture Deficits at Specific Growth Stages in Corn. **Agronomy Journal**, v.46, p.618-621, 1953.
- TANAKA, A.; YAMAGUCHI, J. **Producción de Materia Seca, Componentes del Rendimiento y Rendimiento del Grano en Maíz**. Chapingo: Colegio de Postgraduados, 1977. 124p.
- THORNTHWAITTE, C.W.; MATHER, J.R. **The Water Balance**. Centertar, New Jersey: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Climatology, v.10, n.3).