

EFEITO DA TEMPERATURA DO AR E DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO SOLO NA DURAÇÃO DE SUBPERÍODOS E NA PRODUTIVIDADE DE UM HÍBRIDO DE MILHO (*Zea mays*)¹

EFFECT OF AIR TEMPERATURE AND SOIL WATER AVAILABILITY ON THE DURATION OF THE GROWING STAGES AND ON THE YIELD OF A CORN HYBRID (*Zea mays*)

Beatriz Ibet Lozada² e Luiz Roberto Angelocci³

RESUMO

Com base em ensaios de semeadura conduzidos em Santa Cruz das Palmeiras, SP (latitude: 21°50'S, longitude: 47°16'W, altitude: 644m) foram analisados os efeitos da temperatura do ar, da deficiência e do excedente hídrico do solo, sobre a duração dos subperíodos semeadura à floração (SF) e floração à colheita (FC), do híbrido de milho AG106 da Agrocere, através de análise estatística de regressão, obtendo-se equações para estimar a duração dos mesmos. Estudou-se, também, o efeito daquelas variáveis sobre a produtividade. O balanço hídrico foi calculado pelo modelo de THORNTHWAITE & MATHER (1955) em períodos quinqüidiais, modificado em relação ao modelo original pela utilização da evapotranspiração máxima da cultura, através de coeficientes de cultura (Kc) e da modificação na forma de estimativa do armazenamento hídrico do solo. Os valores de capacidade de água disponível no solo foram variados ao longo do ciclo. A temperatura média do ar foi a variável que melhor explicou a duração do subperíodo semeadura à floração, com ocorrência de uma relação linear entre essa variável e o desenvolvimento relativo. As durações do subperíodo floração à colheita e do ciclo (semeadura à colheita) apresentaram baixa correlação com as variáveis analisadas. A temperatura média do ar no subperíodo de florescimento à colheita foi o principal fator a influenciar o rendimento. As correlações lineares entre a produtividade e a deficiência hídrica no solo nos subperíodos estudados não foram significativas.

Palavras-chave: deficiência hídrica, excedente hídrico, balanço hídrico, milho.

SUMMARY

The effect of air temperature, soil water excess and soil water deficit, on the duration of the growing cycle and of the development stages (sowing to flowering and flowering to harvesting) of a corn hybrid (Agrocere AG 106) was studied by using phenological observations of a planting dates essay. Statistical analysis of regression was used in order to obtain equations for estimating the duration of the stages. The effect of those variables on the yield was also studied. Five-day soil water balance estimated by the THORNTHWAITE & MATHER's model (1955) was used, with two main modifications concerning the original model: use of the maximum crop evapotranspiration, by multiplying the reference evapotranspiration by crop coefficients, and a modified criterion for estimating the soil water storage. The water balance was calculated by changing the available soil water capacity along the crop cycle. Mean air temperature was the main factor to explain the duration of the stage of planting to flowering. Duration of the flowering to harvesting stage and of the planting to harvesting cycle showed low correlation with the analysed variables. Mean air temperature in the flowering to harvesting stage was the main factor to influence the yield. Poor linear correlations between yield and soil water deficit were found for all the stages analysed.

Key words: soil water deficit, soil water excess, water balance, corn.

¹Parte da dissertação de mestrado apresentada pelo primeiro autor à ESALQ/USP.

²Engº Agrº, MS, Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Carretera vía Delicias, Bramón, Estado de Táchira, Venezuela. E-mail: beatrizlo@hotmail.com ou ciaeta@epsilon.funtha.gov.ve

³Professor Associado, Dr., Livre-Docente Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP, Caixa Postal 9, 13418-970, Piracicaba, SP. E-mail: lrangeloc@carpa.ciagri.usp.br. Bolsista do CNPq

INTRODUÇÃO

O milho é um dos principais cereais do mundo e o mais cultivado no Brasil, embora com enormes contrastes de produtividade entre as regiões. Segundo ALFONSI (1996), a produtividade no Estado de São Paulo encontra-se entre 2500 a 3000 kg/ha, baixa se comparada com as obtidas em outros países.

FANCELLI & LIMA (1983) e MORICOCCHI et al. (1989) mencionaram que tecnologias simples e essenciais, como semeadura na época adequada, cultivares adaptados às condições regionais, uso de sementes fiscalizadas, densidade de semeadura apropriada, uso correto de fertilizantes, podem ser aplicadas para proporcionar condições que permitam à cultura manifestar todo seu potencial produtivo.

ALFONSI et al. (1989) indicaram que nas áreas intertropicais, a disponibilidade hídrica é o fator determinante do desenvolvimento e produtividade dos vegetais. HSIA et al. (1976), citados por VAUX & PRUITT (1983), apresentaram um diagrama simplificado de efeitos gerais do estresse hídrico sobre o rendimento, que evidencia as múltiplas interações entre o grau de estresse hídrico, crescimento, desenvolvimento, estados ontogenéticos e rendimentos.

FRÈRE & POPOV (1986) assinalaram que o período crítico de deficiência hídrica no solo para o milho é aquele que ocorre do pendoamento até o enchimento de grãos. MATZENAUER et al. (1995) citaram uma série de trabalhos nos quais foram estudados os efeitos do déficit hídrico sobre o rendimento de grãos e os períodos mais sensíveis da cultura do milho, explicando que os resultados variaram em função da duração e intensidade do déficit, local, tipo de solo e cultivares; em seus estudos, os autores concluíram que o período de maior associação entre o rendimento e variáveis hídricas, ou seja, o de maior sensibilidade ao déficit hídrico, foi o englobado pela floração e início de enchimento de grãos. No caso do milho, além do fator hídrico, é necessário que outros alcancem níveis ótimos, como a temperatura e o fotoperíodo, para que ele expresse seu máximo potencial de produção. A temperatura do ar foi o elemento que melhor explicou o desenvolvimento da planta de milho em trabalhos realizados no Rio Grande do Sul (BERLATO & SUTILI, 1976).

DUNCAN et al. (1973) e MUCHOW & SINCLAIR (1991) assinalaram que a temperatura afeta a duração dos subperíodos de desenvolvimento, com particular importância no de enchimento de grãos. Esse subperíodo diminui com o aumento da temperatura e seu encurtamento está freqüentemente associado a baixos rendimentos em grãos (HUNTER et al., 1977; OLIVEIRA, 1990). PINTO (1973), citado por SANS & GOODWIN (1976) mencionaram ser difícil isolar o efeito de uma variável meteorológica sobre o rendimento de um cultivo em condições de campo, porém isto pode ser avaliado quantitativamente, utilizando-se métodos

estatísticos.

Há anos vêm sendo desenvolvidos modelos de estimativa do rendimento da cultura do milho, com base em variáveis meteorológicas e outras derivadas do balanço hídrico, porém eles apresentam grandes limitações. Os avanços na previsão de rendimento de um cultivo ocorrem quando são utilizados modelos de simulação de crescimento da planta, para estimativa da produção em grandes áreas. BERLATO & SUTILI (1976) mencionam que esses modelos relacionam variáveis meteorológicas com o crescimento e o desenvolvimento da planta, sendo úteis para um melhor entendimento das relações planta-clima e, também, para prognóstico de rendimento do cultivo sob uma determinada condição climática.

Este trabalho teve por objetivo estudar as relações entre a duração dos diferentes subperíodos de desenvolvimento e do ciclo de um híbrido de milho e as variáveis temperatura média do ar, deficiência e excedente hídrico do solo, bem como estudar as relações entre o rendimento e essas variáveis físicas do ambiente.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi utilizada a base de dados das observações fenológicas e de produção referente ao ensaio de híbridos e épocas de semeadura de milho da empresa Agroceres, na localidade de Santa Cruz das Palmeiras, SP (latitude: 21°50'S, longitude: 47°16'W e altitude: 644m), com clima do tipo Cwa (subtropical, ou tropical de altitude), segundo a classificação de Köppen. Foram realizadas análises químicas de solo para cada ano de estudo, adubando-se de acordo com as necessidades, usando as mesmas doses para todas as épocas de semeadura.

Os ensaios foram realizados durante seis anos (1987-1993), avaliando-se 15 épocas de semeadura espaçadas de 15 dias, da primeira semana de setembro até a primeira semana de abril. Dos 15 híbridos semeados, foi selecionado o AG 106, por estar presente ao longo dos seis anos.

Os dados de temperatura do ar e de precipitação foram obtidos em estação meteorológica automática instalada no local dos ensaios.

Foi utilizada a metodologia proposta por MASSIGNAM & ANGELOCCI (1993a,b) para girassol, relacionando a duração dos subperíodos de semeadura à floração (SF), floração à colheita (FC) e do ciclo completo (SC) com a temperatura do ar e a disponibilidade hídrica no solo. O critério usado na determinação da data de floração foi aquela na qual 50% das plantas apresentavam flores femininas em todas as repetições. O fotoperíodo foi desconsiderado em função da informação da empresa produtora de sementes sobre a insensibilidade do híbrido a essa variável.

A duração observada de cada subperíodo foi correlacionada, através de análise de regressão múltipla, à temperatura média do ar (TMED), à deficiência (DEF) e ao excedente hídrico (EXC), as duas últimas obtidas a partir do balanço hídrico seqüencial do solo.

Para o ajuste e o teste do modelo foram consideradas duas situações: na primeira, foram utilizados dados de quatro anos para ajuste e de dois anos para teste; na segunda, foram utilizados cinco anos para ajuste e um ano para teste dos modelos.

Os valores de DEF e de EXC foram obtidos do balanço hídrico segundo THORNTHWAITE & MATHER (1955), com as seguintes modificações em relação ao modelo original:

a) Em substituição à evapotranspiração de referência (ET_o), utilizou-se a evapotranspiração máxima da cultura (ET_m), multiplicando-se ET_o pelo coeficiente de cultura K_c, com valores de K_c fornecidos por FRÈRE & POPOV (1986) para um ciclo de 140 dias (Tabela 1).

O déficit hídrico foi definido por DEF = ET_m - E_{Tr}, sendo E_{Tr} a evapotranspiração real.

b) A equação de armazenamento hídrico do solo utilizada no modelo original de THORNTHWAITE & MATHER (1955) foi modificada de acordo com o proposto por DOURADO NETO & VAN LIER (1993). Sendo **p** a fração de água do solo livremente disponível à planta, a variação do armazenamento desde o valor correspondente à capacidade de água disponível (CAD) até aquele referente ao esgotamento da fração **p** é linearmente relacionada ao valor do negativo acumulado (NEG AC) de P-ET_m, onde P é a precipitação. Assim, duas situações são encontradas:

$$1^a) \text{ Se } \text{NEG AC} < p \cdot \text{CAD, tem-se:} \\ \text{ARM} = \text{CAD} - \text{NEG AC} \quad (1)$$

$$2^a) \text{ Se } \text{NEG AC} > p \cdot \text{CAD, tem-se:} \\ \text{ARM} = \text{CAD} (1 - p) e^{-[\text{NEG AC} - p \cdot \text{CAD}] / \text{CAD}(1-p)} \quad (2)$$

Nos casos em que o valor absoluto do ne-

gativo acumulado é maior que zero e o armazenamento menor que a CAD, duas situações podem ocorrer:

a) Se $0 \leq \text{ARM} < \text{CAD}(1-p)$:

$$\text{NEG AC} = \text{CAD} (1-p) \log \frac{\text{ARM}}{[\text{CAD} (1-p)]} - p \cdot \text{CAD} \quad (3)$$

b) Se $\text{ARM} > \text{CAD} (1-p)$

$$\text{NEG AC} = \text{ARM} - \text{CAD} \quad (4)$$

Embora FRÈRE & POPOV (1986) tenham adotado um valor de CAD de 50mm para o milho, no presente estudo optou-se pelos seguintes valores variáveis ao longo do ciclo: 20mm da emergência até 30 dias após a semeadura; 40mm entre 31 dias e 70 dias após a semeadura e 60 mm no subperíodo reprodutivo (após 70 dias da semeadura). O cálculo do balanço hídrico foi iniciado na data de semeadura, assumindo-se que nesse dia o armazenamento hídrico era máximo, pois a semeadura foi feita em condições hídricas naturais favoráveis ou, em caso contrário, foi feita irrigação.

Devido à limitada disponibilidade de elementos meteorológicos, a evapotranspiração de referência foi calculada pelo método de THORNTHWAITE (1948), conforme descrito em OMETTO (1981).

O desenvolvimento relativo DR foi calculado por:

$$\text{DR} = 100/N \quad (5)$$

sendo N o número de dias para ocorrer o subperíodo. Foram definidos: desenvolvimento relativo observado (DRO), com o número de dias observados experimentalmente; desenvolvimento relativo estimado sob condições hídricas ideais (DRH); e desenvolvimento relativo estimado (DRE) calculado com os valores de N estimados do modelo de regressão múltipla com TMED, DEF e EXC. O valor de DRH foi calculado assumindo-se deficiência e excedente hídricos iguais a zero.

Foram utilizados dados de rendimento (t/ha) corrigidos para 13% de umidade do grão. Foi desenvolvido um modelo de análise de regressão múltipla, exprimindo a relação do rendimento com as variáveis temperatura média do ar (TMED), déficit (DEF) e excedente (EXC) hídrico, para cada subperíodo adotado, selecionando-se o modelo mais representativo por meio de análise de variância da regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para caracterizar a disponibilidade hídrica no solo em função das condições climáticas durante os períodos experimentais em cada ano agrícola, são mostrados na Figura 1 os extratos (excedente e deficiência) do balanço hídrico segundo o modelo original de THORNTHWAITE & MATHER (1955), em base decendial e assumindo-se CAD = 60mm.

Observa-se pelos dados que no período de

Tabela 1. Valores do coeficiente de cultura K_c utilizados para milho.

Decêndio após a semeadura	K _c
1	0,3
2	0,6
3	0,8
4	0,9
5	1,0
6	1,1
7	1,2
8	1,2
9	1,1
10	2,0
11	0,8
12	0,7
13	0,6
14	0,5

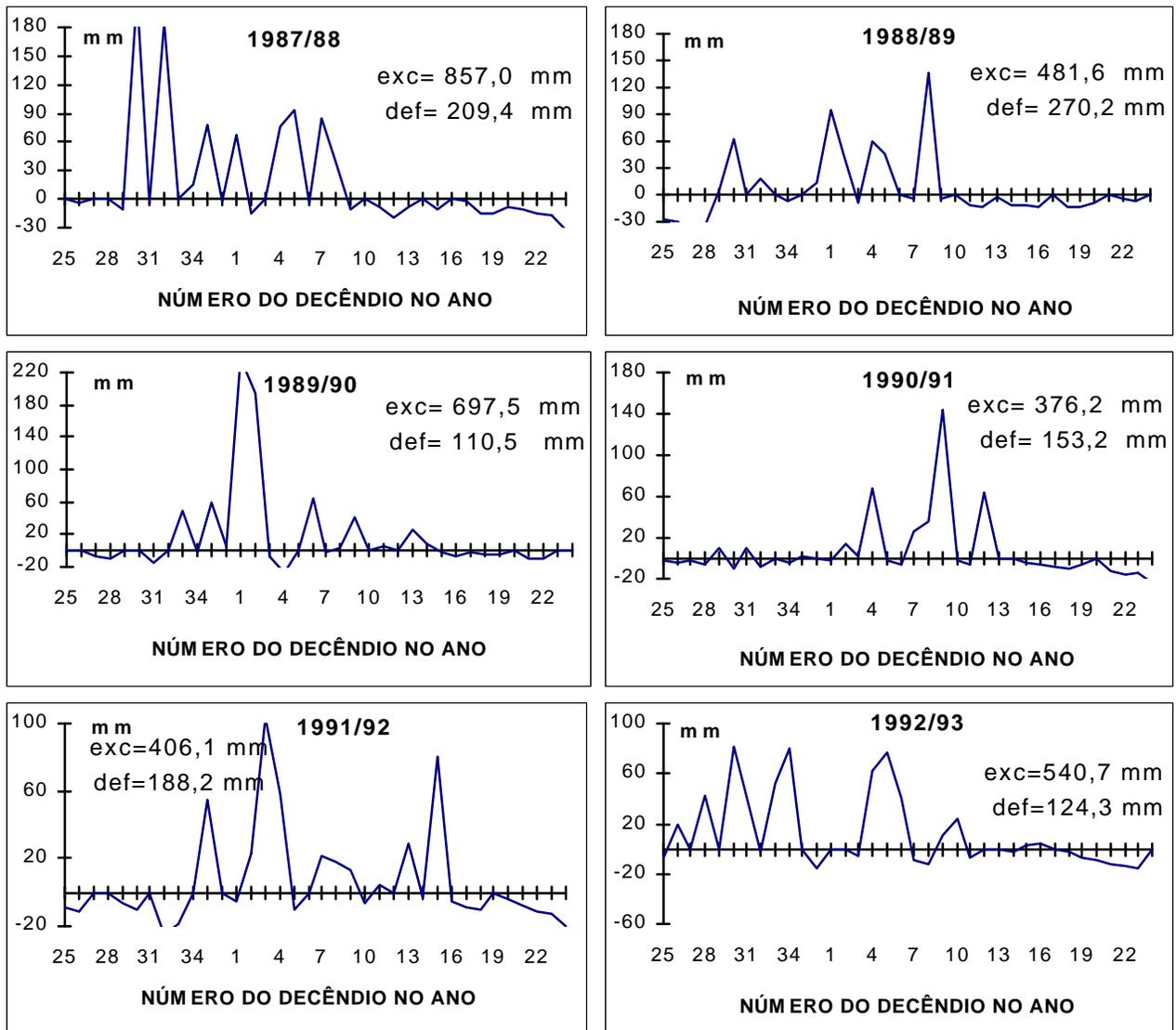


Figura 1. Extrato do balanço hídrico climatológico segundo THORNTHWAITE & MATHER (1955) para os períodos experimentais nos diferentes anos agrícolas. CDA= 60mm.

cultivo de setembro de 1988 a junho de 1989 ocorreu o maior valor de deficiência hídrica, seguido pelo de 1987/88; em ambos os casos, a deficiência estendeu-se praticamente por todos os meses de abril a junho, diferenciando-se os dois casos pelo grande excedente hídrico em 1987/88 a partir de outubro, que ocorreu em menor escala em 1988/89, com deficiência no mês de setembro muito pequena no primeiro e grande no segundo ano agrícola. Os anos agrícolas 1989/90 e 1990/91 apresentaram-se peculiares em relação ao padrão normal de balanço, pois os excedentes concentraram-se nos quatro primeiros meses do ano civil, tendo ocorrido períodos alternados de leves deficiências ou excedentes de setembro a dezembro. O ano de

1991/92 apresentou deficiência de agosto a novembro, seguido por período de grande excedente até maio, permeado de alguns decêndios com pequena deficiência. O ano 1992/93 caracterizou-se por grande excedente de setembro até abril, com ocorrência de três decêndios com baixa deficiência. Enquanto os excedentes foram altos em 87/88, 89/90 e 92/93, as deficiências em geral não foram elevadas nos anos, salvo em períodos como os dos decêndios 25 a 28 de 88/89 e de 32 e 33 de 1991/92.

Os resultados da análise estatística dos modelos de regressão múltipla passo a passo, que se mostraram mais representativos da relação entre a

Tabela 2. Equação do modelo mais representativo da duração em dias (N) do subperíodo sementeira à floração, em função da temperatura média (TMED) e da deficiência hídrica (DEF) no solo, considerando quatro anos de dados. Santa Cruz das Palmeiras, SP.

Variável	Coefficiente	Erro Padrão	"t"
Intercepto	318,03	80,013	3,975
TMED ²	-18,14	7,079	-2,563**
TMED	0,32	0,156	2,063**
DEF	0,10	0,019	5,244*

Q. M. = 11,4 com 56 G. L. $R^2 = 0,79^{**}$

* Significativo a 5% ** Significativo a 1%

duração do subperíodo sementeira à floração e as variáveis estudadas, são mostrados na Tabela 2. O uso de quatro ou de cinco anos de dados para o ajuste originou equações de regressão muito similares, com coeficiente de determinação ligeiramente superior para a série de quatro anos, de modo que são mostradas apenas as equações referentes a este último caso. A temperatura média do ar e a deficiência hídrica do solo foram as variáveis significativas, enquanto o excedente hídrico não apresentou significância.

A temperatura do ar apresentou efeito linear e quadrático sobre a duração do subperíodo sementeira à floração, na gama de valores de temperatura média observada, entre 19,1°C e 25,0°C. A duração desse subperíodo apresentou-se altamente correlacionada com a temperatura média correspondente, indicando que esta é a variável que melhor explica tal duração. A duração do subperíodo diminuiu com o incremento da temperatura média, coincidindo estes resultados com aqueles apresentados por outros autores (DUNCAN et al., 1973; BERLATO et al., 1974). MUCHOW et al. (1990) assinalam que a temperatura é a principal variável a influenciar a duração do ciclo.

Utilizando-se os modelos de regressão, foi possível estimar que o máximo desenvolvimento relativo (DR), dado pelo valor mínimo da duração do subperíodo, seria promovido por temperatura média de 28,3°C (N= 61 e DR=1,64). Desse modo, conclui-se que os valores de temperatura média do ar observados nos ensaios estiveram abaixo daquele em que o desenvolvimento relativo seria máximo.

A deficiência hídrica apresentou efeito linear, sendo que seu aumento pode gerar um aumento da duração do subperíodo da sementeira à floração.

A Figura 2 mostra os valores de desenvolvimento relativo observado (DRO), de desenvolvimento relativo estimado sob condições hídricas ideais (DRH) e de desenvolvimento relativo calculado com os valores do modelo de regressão (DRE). Observa-se na figura a linearidade do desenvolvimento relativo com a temperatura na série de valores observados. Observa-

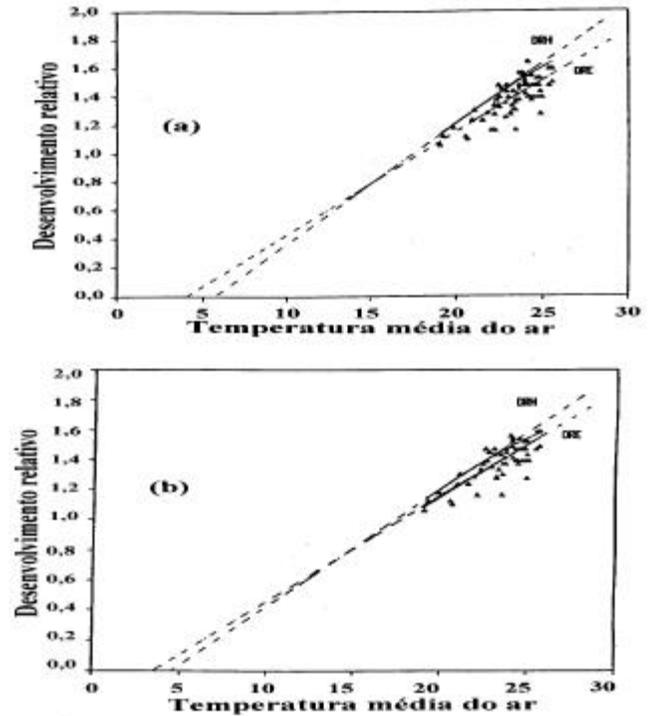


Figura 2. Variação do desenvolvimento relativo observado (DRO), estimado sob boas condições hídricas no solo (DRH) e estimado pela regressão (DRE) em função da temperatura média do ar (°C), utilizando-se dados de 4 anos (a) de 5 anos (b).

se, também, uma pequena diferença nas relações caso se utilize DRE ou DRH. O valor de DRH foi calculado assumindo-se deficiência e excedente hídricos iguais a zero.

Não foi encontrada uma boa correlação linear entre a duração do subperíodo floração à colheita e do ciclo sementeira à colheita com as variáveis em estudo, apresentando coeficientes de determinação não significativos ($R^2 = 0,22$ e $R^2 = 0,12$), e também coeficientes de ajuste não significativos pelo teste t, com exceção daquele para deficiência hídrica quando foram utilizados quatro anos de dados no ajuste (Tabelas 3 e 4). Isto indica a possibilidade de que outras variáveis não estudadas apresentaram maior influência, as quais teriam que ser isoladas para se determinar o efeito da temperatura.

Entre os subperíodos, o de sementeira à floração foi o que apresentou resposta mais acentuada às variáveis meteorológicas estudadas. Além do efeito de outras variáveis, os baixos coeficientes de determinação obtidos para o subperíodo da floração à colheita e para o ciclo podem ser decorrentes da falta de um critério comum (fisiológico) para a realização da colheita nas épocas de sementeira, pois em algumas épocas provavelmente o milho deve ter permanecido no campo por tempo variável nas diferentes épocas,

Tabela 3. Análise de regressão da duração em dias do subperíodo semeadura à floração com a temperatura média (TMED), a deficiência (DEF) e o excedente (EXC) hídricos do solo, considerando quatro anos de dados. Santa Cruz das Palmeiras, SP.

Variável	Coefficiente	Erro Padrão	"t"
Intercepto	101,65	14,35	7,09
TMED	-0,762	0,69	-1,11 ns
DEF	-0,093	0,05	-1,92 *
EXC	0,000	0,01	0,26 ns

ns Não significativo * Significativo a 5%

após alcançar a maturação fisiológica, a qual não foi determinada.

A Tabela 5 apresenta os resultados do efeito das variáveis físicas do ambiente na produção, com os modelos de regressão linear entre o rendimento do milho e as variáveis estudadas, para cada subperíodo selecionado.

Os coeficientes de determinação para a variável deficiência hídrica no solo não foram significativos nos subperíodos considerados, indicando não ter havido associação direta entre essa variável e o rendimento nas condições em que ocorreram os cultivos, ainda que diferentes autores assinalem que a deficiência hídrica afeta diretamente o rendimento, especialmente no subperíodo de floração à colheita.

Os valores de TMED, DEF e EXC do subperíodo semeadura à floração não apresentaram boa correlação com o rendimento. Para o ciclo (semeadura à colheita) e para o subperíodo floração à colheita a variável EXC apresentou baixa correlação com o rendimento. O modelo de regressão múltipla mais representativo do rendimento foi o que considerou as variáveis temperatura média do ar e o déficit hídrico para o subperíodo floração à colheita (Tabela 6). A temperatura do subperíodo floração à colheita apresentou alta correlação com o rendimento, indicando ser a variável que melhor o explica.

Os resultados obtidos reforçam o observado por UITDEWILLIGEN & MUNDSTOCK (1972) e MUCHOW et al. (1989) de que um incremento da temperatura no subperíodo de enchimento de grãos promove maior rendimento. Isto é contrário ao assinalado por outros autores, os quais indicam a existência de uma correlação negativa entre a temperatura média desse subperíodo e o rendimento, associada com a variação da duração do subperíodo. BAUDER (1982) e MUCHOW et al. (1990), por exemplo, assinalaram que rendimento do milho foi incrementado em condições de baixa temperatura, devido ao aumento na duração do subperíodo, o que permite um tempo maior de interceptação da radiação solar pelo cultivo, sendo que o acúmulo de biomassa é diretamente

Tabela 4. Análise de regressão da duração do semeadura à colheita com a temperatura média (TMED), a deficiência (DEF) e o excedente (EXC) hídricos do solo, considerando cinco anos de dados. Santa Cruz das Palmeiras, SP.

Variável	Coefficiente	Erro Padrão	"t"
Intercepto	191,18	22,46	8,51
TMED	-1,38	1,06	-1,30 ns
DEF	-0,01	0,03	-0,41 ns
EXC	-0,01	0,00	-1,06 ns

ns Não significativo * Significativo a 5%

proporcional à quantidade de radiação absorvida e o rendimento em grãos diretamente proporcional ao acúmulo de biomassa.

AGRADECIMENTOS

À AGRO CERES pela cessão dos dados básicos deste trabalho, à FAPESP e à CAPES pela concessão de bolsa ao primeiro autor e ao CNPq pela bolsa ao segundo autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFONSI, R.R., CAMARGO, M.B.P., CHIAVEGATTO, O.M.D.P. et al. Simulação de épocas de semeadura baseadas no atendimento da demanda hídrica para culturas de soja, milho e arroz de sequeiro no estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 4., 1985, Londrina, PR. **Anais...**, Londrina: EMBRAPA/CNPSo, 1985, p. 34-38.

BAUDER, J.W., RANDALL, G.W. Regression models for predicting corn yield from climatic data and management practices. **Soil Science Society of**

Tabela 5. Modelos de regressão linear entre a produtividade de grãos P (t/ha) com 13 % de umidade e as variáveis temperatura média (TMED), deficiência (DEF) e excedente hídrico (EXC) para cada subperíodo. Santa Cruz das Palmeiras, SP. SF = semeadura à floração; FC = floração à colheita; SC = semeadura à colheita.

Subperíodo	Equação	Valor "t"	R2
SF	P = -10,641 + 0,689 TMED	3,189**	0,122 ns
FC	P = -12,911 + 0,838 TMED	11,433**	0,642 **
	P = 6,168 - 0,028 DEF	-2,664**	0,088 ns
	P = 3,853 + 0,022 EXC	6,437**	0,362 **
SC	P = -21,93 + 1,208 TMED	-7,823**	0,568 **
	P = 6,357 - 0,019 DEF	-2,488**	0,078 ns
	P = 2,957 + 0,007 EXC	4,599**	0,225 *

OBS.: para SF as equações para DEF e EXC não são apresentadas devido aos coeficientes baixíssimos

Tabela 6. Modelo de regressão múltipla mais representativo da produtividade (t/ha) em função da temperatura média do ar (TMED) e deficiência hídrica (DEF) no subperíodo floração à colheita. Santa Cruz das Palmeiras, SP.

Variável	Coefficiente	Erro Padrão	"t"
Intercepto	-15,400	1,960	-7,857
TMED	0,933	0,084	11,087**
DEF	0016	0,007	-2,154*

Q. M. = 2,58 com 74 G. L. $R^2 = 0,66^{**}$

* Significativo a 5% ** Significativo a 1%

America Journal, Madison, v. 46, p. 158-161, 1982.

DOURADO NETO, D., VAN LIER, J.de Q. Estimativa do armazenamento de água no solo para realização de balanço hídrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 9-15, 1993.

DUNCAN, W.G., SHAVER, D.L., WILLIAMS, W.A. Insolation and temperature effects on maize growth and yield. **Crop Science**, Madison, v. 13, p. 187-191, 1973.

FANCELLI, A.L., LIMA, U.L. **Milho: Produção, préprocessamento e transformação agroindustrial**. São Paulo : Secretaria de Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1983. 112 p. (Série Agroindustrial, 5).

FRÈRE, M., POPOV, G.F. **Pronóstico agrometeorológico del rendimiento de los cultivos**. Roma : FAO, 1986. 193 p. (Bulletin, 73).

GOODWIN, J.B., SANS, L.M.A. Análise de interação da data de plantio, probabilidade de chuvas e consumo de água pela cultura do milho. Nota preliminar. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 11., Piracicaba, 1976. **Anais...** Piracicaba : ESALQ. 1976. p. 483-479.

HUNTER, R.B., TOLLENAAR, M., BREVER, C.M. Effects of photoperiod and temperature on vegetative and reproductive growth of maize (*Zea mays* L.). **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 57, p. 1127-1133, 1977.

MASSIGNAM, A.M., ANGELOCCI, L.R. Relações entre temperatura do ar, disponibilidade hídrica no solo, fotoperíodo e duração de subperíodos fenológicos do girassol. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 63-69, 1993a.

MASSIGNAM, A. M., ANGELOCCI, L.R. Determinação da temperatura-base e de graus-dia na estimativa

da duração dos subperíodos de desenvolvimento de três cultivares de girassol. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 71-79, 1993b.

MATZENAUER, R., BERGAMASCHI, H., BERLATO, M.A. et al. Relações entre rendimento de milho e variáveis hídricas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 3, p. 85-92, 1995.

MORICOCCHI, L., RONCATO P., C.R., VICENTE, J.R. et al. Potencial de produção e produtividade da Agricultura Paulista: o caso do milho. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 36, n. 1, p. 127-148, 1989.

MUCHOW, R.C., SINCLAIR, T.R., BENNETT, J.M. Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. **Agronomy Journal**, Madison, v. 82, p. 338-343, 1990.

MUCHOW, R.C., SINCLAIR, T.R. Water deficit effects on maize yields modeled under current and "greenhouse" climates. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, n. 6, p. 1052-1059, 1991.

OLIVEIRA, M.D.X. **Comportamento da cultura de milho (*Zea mays* L.) em diferentes épocas de semeadura nas regiões centro e norte de Mato Grosso do Sul**. Lavras : ESAL, 1990. 90 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura de Lavras. 1990.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo : Editora Agrônômica Ceres. 1981. 436 p.

SANS, L.M., GOODWIN, J.B. Seleção de épocas de plantio para minimizar o efeito de veranico para a cultura do milho. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 11., Piracicaba. 1976. **Anais...** Piracicaba : ESALQ, 1976, p. 517-521.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Revue**, v. 38, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C.W., MATHER, J.R. **The water balance**. New Jersey : Drexel Institute of Technology, 1995, 104 p. (Publications in Climatology).

UITDEWILLIGEN, W.P.M., MUNDSTOCK, C.M. Estudo comparativo de rendimento de três cultivares de milho em quatro épocas de semeadura com e sem irrigação. In: REUNIÃO BRASILEIRA DO MILHO, 9., Recife. 1972. **Anais...**, Recife, 1972. p. 224-229.

VAUX, H.J.Jr., PRUITT, W.O. Crop-water production functions. In: Hillel, D. (ed.) **Advances in Irrigation**, New York, v. 2, p. 61-97, 1983.