***DETERMINAÇÃO DE TEMPERATURA-BASE E INFLUÊNCIA DE
VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA DURAÇÃO DO CICLO E NA
PRODUÇÃO DO MILHO (Zea mays L.)***

BEATRIZ IBET LOZADA GARCIA

Engenheiro Agrônomo

Orientador : Prof. DR. LUIZ ROBERTO ANGELOCCI

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Agrometeorologia.

**P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Dezembro - 1993**

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - FULQ/USP

- Lozada Garcia, Beatriz Ibet
L925d Determinação de temperatura base e influência de
variáveis climáticas na duração do ciclo e na produção
do milho (*Zea mays* L). Piracicaba, 1993.
82p.
- Diss.(Mestre) -- ESALQ
Bibliografia.
1. Climatologia agrícola 2. Milho -- Produção I. Es
cola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracica
ba

CDD 633.15

***DETERMINAÇÃO DE TEMPERATURA-BASE E INFLUÊNCIA DE
VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA DURAÇÃO DO CICLO E NA
PRODUÇÃO DO MILHO (Zea mays L.)***

BEATRIZ IBET LOZADA GARCIA

Aprovada em: 17 / 12 / 1993

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Luiz Roberto Angelocci	ESALQ/USP
Prof. Dr. Antônio Roberto Pereira	ESALQ/USP
Prof. Dr. Antônio Luiz Fancelli	ESALQ/USP

Prof. Dr. LUIZ ROBERTO ANGELOCCI
Orientador

A Jesus Alberto y
A mi hijo Fernando,
por el AMOR y el estar
presentes.

A mis Padres,
A mi abuela y a mis
hermanos por todo
el apoyo y colaboración.

D E D I C O .

AGRADECIMENTOS

- A Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz",
pela oportunidade para a realização do curso.
- Ao Prof. Dr. Luiz Roberto Angelocci, pela orientação,
amizade e constante apoio.
- A firma AGROCERES, pela cessão dos dados meteorológicos
e fenológicos da cultura de milho utilizados no
presente trabalho.
- A Fundação de Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)
e a CAPES, pelo auxílio financeiro.
- Ao Prof. Valter Barbieri pela colaboração.
- Aos professores e funcionários do Departamento de Física
e Meteorologia da ESALQ/USP, pela colaboração e
amizade.
- A Teresa, Vilma y Estela por haber compartido los buenos
y malos momentos, por la grande amistad, gracias.
- A Hildeu e Luiz pela colaboração desinteressada.
- A Elcio, Marlene, Ná, Roberto, Eduardo, Giam e Valéria
pelo constante apoio e amizade.
- A todos que, de uma forma ou outra, contribuíram para a
realização deste trabalho.

SUMÁRIO

página

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	xii
SUMMARY	xv
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Influencia dos fatores climáticos sobre o desenvolvimento e produtividade do milho	3
2.1.1. Temperatura	3
2.1.2. Disponibilidade hídrica	9
2.2. Influência da época de plantio	11
3 - MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1. Local e Épocas de Ensaio	19
3.2. Dados meteorológicos	20
3.3. Híbrido	20
3.4. Relações entre duração do ciclo e variáveis	

	vi
físicas do ambiente	21
3.5. Relações entre a produção e variáveis físicas do ambiente	32
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1. Efeito das variáveis na duração das fases fenológicas	34
4.1.1. Modelos de regressão entre a duração dos sub-períodos e as variáveis estudadas .	34
4.1.2. Fator de correção dos graus-dia	42
4.1.3. Determinação da temperatura-base . . .	44
4.1.4. Validação dos modelos de estimativa do sub-período plantio à floração	52
4.2. Efeito das variáveis físicas do ambiente na produção.	61
4.3. Efeito da época de semeadura	69
5 - CONCLUSÕES	71
LITERATURA CITADA	73

LISTA DE FIGURAS

Figura	página
1	Definição do armazenamento em função do negativo acumulado 30
2a	Desenvolvimento relativo observado (DRO), estimado sob condições ótimas de água no solo (DRH) e estimado pela regressão (DRE) (dados de 4 anos) 39
2b	Desenvolvimento relativo observado (DRO), estimado sob condições ótimas de água no solo (DRH) e estimado pela regressão (DRE) (dados de 5 anos) 40
3	Desenvolvimento relativo do sub-período floração à colheita em função da temperatura média 47
4	Desenvolvimento relativo do ciclo plantio à colheita em função da temperatura média . 47
5	Desvio padrão (SD) dos graus-dia e coeficiente de variação (CV) em função da T_b pre-escolhida para o sub-período SF(dados de 4 anos) 50
6	Desvio padrão (SD) dos graus-dia e o coeficiente de variação (CV) em função da T_b pre-escolhida para o sub-período SF(dados de 5 anos) 51
7	Duração observada do sub-período plantio à flo-

	ração e as diferentes estimativas.	
	(dados de 4 anos)	56
8	Duração observada do sub-período semeadura à floração e as diferentes estimativas	
	(dados de 5 anos)	60
9	Produção de grão (t/ha) em função da temperatura média do sub-período semeadura à floração	63
10	Produção de grão (t/ha) em função da temperatura média do sub-período floração à colheita	63
11	Produção de grão (t/ha) em função da temperatura média do ciclo semeadura à colheita . .	64
12	Relação entre o rendimento observado e o estimado pelo modelo, em função da temperatura média do sub-período floração à colheita . .	67

LISTA DE TABELAS

Tabela	página
1	Datas de semeadura, floração e colheita das épocas para cada ciclo analisado 22
2	Valores de Kc para o milho 28
3	Modelo mais representativo da duração em dias do sub-período semeadura à floração, em função da T_{MED} e do DEF no solo, considerando 4 anos de dados 35
4	Modelo mais representativo da duração em dias do sub-período semeadura à floração, em função da T_{MED} e do DEF no solo, considerando 5 anos de dados 36
5	Modelo de regressão linear entre a duração em dias do sub-período floração à colheita, temperatura média, deficiência e excedente hídrico do solo. (dados 4 anos) 41
6	Modelo de regressão linear entre a duração em dias do ciclo semeadura à colheita, temperatura média, deficiência e excedente hídrico do solo. (dados de 5 anos) 41
7	Equações de regressão linear entre desenvolvimento relativo (DRH) e temperatura média do ar

	para o sub-período SF, para 4 e 5 anos respec-	
	tivamente	43
8	Duração observada e estimada do sub-período	
	semeadura à floração em dias e fator de correção	
	(FH) dos graus-dia (dados de 4 anos)	45
9	Duração observada e estimada do sub-período	
	semeadura à floração em dias e fator de correção	
	(FH) dos graus-dia (dados de 5 anos)	46
10	Equações de regressão linear do desenvolvimen-	
	to relativo (DR), para os sub-períodos SF, FC	
	e do ciclo SC em função da temperatura média	
	do ar (T_{MED})	49
11	Valores de temperatura-base do sub-período	
	semeadura à floração	49
12	Valores médios dos graus-dia (GD), desvio	
	padrão, CV e SD.	53
13a	Valores observados e estimados a partir do mo-	
	delo de regressão e do uso de graus-dia da du-	
	ração do sub-período semeadura à floração, ciclo	
	91-92.	54
13b	Valores observados e estimados a partir do mo-	
	delo de regressão e do uso de graus-dia da du-	
	ração do sub-período semeadura à floração, ciclo	
	92-93 (dados de 4 anos).	55
14	Valores observados e estimados a partir do mo-	

	delo de regressão e do uso de graus-dia da du- ração do sub-período semeadura à floração, ciclo 92-93 (dados de 5 anos)	59
15	Modelo de regressão linear para produção de grão a 13% de umidade, em função das variáveis T_{MED} , DEF e EXC para cada sub-período SF, FC e do ciclo SC.	64
16	Modelo mais representativo da produção (t/ha)	66
17	Valores do déficit de evapotranspiração rela- tiva, produção estimada (YaEST), produção observada (YaOBS) e temperatura média (T_{MEDFC})	68

DETERMINAÇÃO DE TEMPERATURA-BASE E INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA DURAÇÃO DO CICLO E NA PRODUÇÃO DO MILHO (*Zea mays* L.)

Autora: BEATRIZ IBET LOZADA GARCIA

Orientador: PROF. DR. LUIZ ROBERTO ANGELOCCI

RESUMO

Com o objetivo de estimar a influência de variáveis físicas do ambiente, na duração dos sub-períodos fenológicos e produção do milho, foi analisada a base de dados das observações fenológicas e de produção, referente ao experimento de híbridos e épocas de semeadura da firma AGROCERES, em Santa Cruz das Palmeiras, S.P.

Analisou-se o efeito da variável temperatura média do ar e das variáveis deficiência e excedente hídrico obtidas a partir do balanço hídrico no solo, na duração dos sub-período semeadura à floração (SF), floração à colheita (FC), e o ciclo semeadura à colheita (SC) e na produção do híbrido AG-106, através de um modelo estatístico de regressão.

O balanço hídrico foi calculado de acordo com

o modelo de Thornthwaite e Mather (1955), modificado para a determinação do armazenamento e o uso do coeficiente de cultura (K_c), para quinquédios, usando-se uma capacidade de água disponível variável ao longo do ciclo, sendo a evapotranspiração potencial estimada pelo método de Thornthwaite.

A temperatura média do ar foi a variável que melhor explicou a duração do sub-período semeadura à floração, mas a duração do sub-período FC e o ciclo todo, apresentaram uma baixa correlação com as variáveis analisadas.

O uso do fator hídrico de correção dos graus-dia, melhorou a estimativa da duração do sub-período plantio à floração.

O graus-dia estimados a partir da temperatura-base de 10°C , corrigidos para eliminar o efeito do fator hídrico, promoveram a melhor estimativa na duração do sub-período semeadura à floração.

A produção foi melhor explicada pela temperatura média que ocorreu no sub-período floração à colheita.

Não foi encontrada correlação linear entre a produção e a variável deficiência hídrica, para nenhum dos sub-período estudados, mais o análise do efeito do déficit de evapotranspiração relativa sobre o rendimento determinado pelo modelo de Stewart (1973) mostrou uma tendência de

diminuição do rendimento ao redor de 30% quando a temperatura média no sub-período floração-colheita foi maior que 22°C. Abaixo desse valor, a temperatura média nesse sub-período foi o principal fator afetando o rendimento, o qual diminuiu relativamente em 50% do estimado pelo modelo de Stewart.

**DETERMINATION OF BASE-TEMPERATURE AND INFLUENCE OF CLIMATIC
VARIABLES ON THE CYCLE DURATION AND ON THE PRODUCTION OF CORN
(*Zea mays* L.)**

Author: BEATRIZ IBET LOZADA GARCIA

Adviser: PROF. DR. LUIZ ROBERTO ANGELOCCI

SUMMARY

The base data of phenological observations and production was analysed for a corn hybrid essay at Santa Cruz das Palmeiras, S.P, Brazil, involving planting dates. The objective was to estimate the influence of physical environmental variables on the sub-period duration and the production of corn.

The effects of mean air temperature, water excess and deficit calculated from soil water balance during the sub-period planting to flowering, flowering to harvesting and the planting to harvesting cycle, and with the production of the hibrid AG-106 were studied through a regression model.

The water balance was calculated acording with Thornthwaite & Mather model, modified with respect to soil water storage and crop coefficient (K_c), for five day

periods, was used a changing available soil water content through of the total cycle. The potential evapotranspiration was estimated by Thornthwaite's method.

The mean air temperature best explained the length of the sub-period planting - flowering, but the sub-period of flowering to harvesting and the planting - harvesting cycle showed low correlation with the analysed variables.

The use of degrees-day corrected by a factor which considered the soil water availability improved the planting - flowering duration. The duration of the sub-period was best estimated for a base-temperature of 10°C and when the correction factor for hydric effect was used.

The grain yield was best explained by the mean air temperature of the sub-period flowering to harvesting.

No a linear correlation was found between grain yield and soil water deficits in all the periods, but an analysis of the relative evapotranspiration deficit effect on the yield, by the model proposed by Stewart (1973), showed a tendency to decrease the maximum yield in about 30% when the mean temperature in the flowering - harvesting sub-period was above 22°C . Below this value, the mean air temperature in this sub-period was the main factor affecting the yield, indicating a 50% decrease in relation to the estimated yield by Stewart's model.

1 - INTRODUÇÃO

O milho é um dos principais cereais do mundo, sendo o Brasil o terceiro produtor a nível mundial, com uma produção em torno de 25 milhões de toneladas em 1987/1988. Contudo o país apresenta, como característica marcante da cultura, um baixo nível de produtividade em relação a outros países produtores (MORICCHI, 1989).

O estado de São Paulo é o segundo produtor do Brasil, com cerca de 3,8 milhões de ton., para 1987/1988 e uma produtividade média variando entre 2600 e 2800 Kg/ha, ficando com muito a desejar quando comparado com os padrões alcançados pelos países de agricultura mais desenvolvida.

Essa produtividade extremamente baixa, segundo FANCELLI (1983), é devido principalmente à extrema dificuldade evidenciada no processo de difusão e adoção de tecnologia mais avançadas dentro dessa cultura.

FANCELLI (1983) e MORICCHI (1989) concordam em mencionar que algumas tecnologias essenciais e simples, como semeadura em épocas mais adequadas, escolha de cultivares mais adaptadas as condições regionais, uso de sementes

certificadas, densidade de plantio mais apropriada, uso adequado de corretivos e fertilizantes, entre outras não menos importantes, poderiam ser aplicadas com o intuito de proporcionar condições que permitam à cultura manifestar todo seu potencial.

O presente trabalho, teve como objetivos:

- estudar as relações entre duração do ciclo e variáveis físicas do ambiente (temperatura média do ar, deficiência e excedentes hídricos do solo) para um híbrido de milho.

- comparar métodos de determinação da temperatura base, estimar o efeito da amplitude dos valores dos dados usados na estimativa e a influencia dos parâmetros climáticos.

- comparar as estimativas de duração dos sub-períodos semeadura-floração (SF), floração-colheita (FC) e do ciclo semeadura-colheita (SC), pelo modelo de regressão e também com base em graus-dia, corrigidos e sem correção, para temperatura e disponibilidade hídrica, com a temperatura base estimada pelos métodos citados no paragrafo anterior e com temperatura-base de 10°C, encontrada frequentemente na literatura.

- estudar as relação entre a produção e variáveis físicas do ambiente (temperatura média do ar, deficiência e excedente hídrico do solo).

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Influência dos fatores climáticos sobre o desenvolvimento e produtividade do milho

ALFONSI et alii (1979) indicam que nas áreas intertropicais a disponibilidade hídrica é o fator determinante das condições de desenvolvimento e produtividade dos vegetais.

No caso do milho, além do fator hídrico, é necessário que outros fatores climáticos atinjam níveis considerados ótimos, como a temperatura e o fotoperíodo, revelando então seu potencial genético de produção no máximo.

2.1.1. Temperatura

Diversos trabalhos de pesquisa realizados no Rio Grande do Sul (BERLATO et alii, 1974; BERLATO et alii, 1976; BERLATO et alii, 1978) mostraram que a temperatura é o elemento principal para explicar o desenvolvimento da planta de milho.

Tem-se conhecimento que a condição ótima de

temperatura varia com os diversos estádios de crescimento e desenvolvimento da planta de milho, apresentando portanto uma relação complexa com o desempenho da cultura.

No período de germinação à emergência a semente de milho exige uma temperatura do ar mínima de 10°C, uma temperatura média do ar ótima de 26°C a 30°C, tolerando uma temperatura máxima de 40°C-42°C; valores acima de máxima ou abaixo da mínima, impedem a germinação (OLIVEIRA, 1990).

Da emergência ao florescimento, a temperatura média ótima está na faixa de 25°C a 30°C, temperaturas acima deste limite podem provocar deficiência hídrica na planta, mesmo existindo água disponível no solo (OLIVEIRA, 1990).

No período de espigamento ao final da maturidade fisiológica, ao qual é caracterizado pelo processo de enchimento de grãos, a temperatura é um fator muito significativo no aumento do peso seco. Na maturidade fisiológica a temperatura média ótima está ao redor de 27°C (OLIVEIRA, 1990).

MUCHOW & SINCLAIR (1991), concordando com DUNCAN et alii (1973), assinalam que a influencia principal da temperatura é na duração do crescimento, sendo que tem particular importância a duração do período de enchimento do grão, já que a matéria seca acumulada no grão de milho é devida maiormente à matéria seca acumulada após a floração.

Têm sido mostrado que a duração do período de

enchimento de grão decresce com o acréscimo da temperatura e curtos períodos estão frequentemente associados com baixos rendimentos em grão (HUNTER et alii, 1977; diversos autores citados por OLIVEIRA, 1990), embora MUCHOW (1989) considere que em condições de campo os rendimentos podem ser altos com períodos de enchimento do grão menores, sob condições de alta temperatura, sempre que se coincida com alta incidência de radiação.

De forma geral, a temperatura média do ar tem sido utilizada em estudos bioclimáticos, usando a teoria dos graus-dias ou constante térmica, principalmente para estimar a duração dos estádios de desenvolvimento dos vegetais e para escolher a época de plantio.

Os graus-dias ou constante térmica é definida como a soma de temperaturas acima de uma temperatura-base, necessária para que a planta atinja um determinado sub-período de desenvolvimento (BERLATO et alii, 1976).

Dentro das principais críticas feitas a essa teoria por WANG (1960) e por outros autores citados por BERLATO et alii (1976) tem-se:

- 1.- As plantas respondem diferencialmente ao mesmo fator ambiental durante os diferentes estádios de seu ciclo de vida;

- 2.- A temperatura base utilizada no cálculo dos graus-dias é considerada constante e aplicada ao ciclo

inteiro da planta, sendo isto um erro, já que o umbral de valores mudam com o avanço na idade da planta;

3.- A exigência, em graus-dias, de um dado processo é constante somente para aquela amplitude na qual existe uma proporcionalidade direta (linearidade) entre desenvolvimento relativo ($100/\text{duração do sub-período}$ expressada em dias) e a temperatura.

MASSIGNAM (1987), OLIVEIRA (1990) e outros autores coincidem em assinalar que o desenvolvimento relativo nem sempre apresenta uma relação linear com a temperatura. As respostas da temperatura sobre o desenvolvimento relativo são sigmóides e não lineares, sendo que, as temperaturas extremas as quais são submetidas as plantas tem efeitos negativos sobre sua taxa de crescimento (WANG, 1960);

4.- A teoria dos graus-dias não considera muitos fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento da planta, como por exemplo, umidade do solo e déficit de pressão de vapor. BROWN et al (1960) consideram que existe uma influencia de fotoperíodo e do déficit hídrico do solo na resposta da temperatura.

5.- Há efeito do microclima na representatividade dos valores de temperatura usados para o cálculo dos graus-dia.

MASSIGNAM (1987) propôs fatores de correção dos graus-dia, no sentido de considerar a não-linearidade do

desenvolvimento relativo da cultura com a temperatura e a ocorrência de um excesso ou déficit hídrico. O uso dos fatores melhorou a previsão da época de ocorrência da floração.

A temperatura-base considerada no conceito de graus-dia é definida, em base fisiológica, como a menor temperatura na qual o desenvolvimento da planta é nulo; esta temperatura pode variar de cultivar para cultivar, ou mesmo dentro de um cultivar em função do sub-período considerado.

Conscientes deste fato, vários autores consideraram um valor geral de 10°C como a temperatura-base para o milho. Entretanto, conforme demonstra Brunini (1971) citado por BERLATO & SUTILI (1976), a utilização de uma temperatura base que não corresponda à cultura em estudo ocasiona considerável erro na estimativa dos graus-dia.

Segundo ARNOLD (1959), a natureza deste erro pode ser generalizada da seguinte forma: se a temperatura-base é muito alta os graus-dia requeridos para a cultura considerada aumentam, com o incremento da média da temperatura durante o período de desenvolvimento analisado e se a temperatura-base escolhida é muito baixa o processo contrário pode acontecer.

A temperatura-base estaria influenciada pela faixa de temperaturas usadas no cálculo, portanto um dos pré-requisitos para a determinação de um valor apropriado é que

os dados a partir dos quais ela é estimada envolvam uma faixa de valores normalmente encontrada na sub-período de desenvolvimento para a qual essa temperatura vai ser usada.

ARNOLD (1959) assinala que existe uma discrepância entre a temperatura-base fisiológica e a estatisticamente obtida, a qual pode ocorrer devido à influência de alguns outros fatores ambientais, como a luz ou a umidade, sendo que eles influenciam a taxa de desenvolvimento e estariam correlacionados com a temperatura; nessas condições a equação de regressão não representa o efeito da temperatura isoladamente e a temperatura-base estimada seria errada.

Três erros que podem ser cometidos no cálculo da temperatura-base são relatados por ARNOLD (1959), a: o uso do desvio padrão do somatório dos graus-dia no cálculo da temperatura-base; b: a rejeição da temperatura-base, por ser considerada muito baixa para ser factível fisiologicamente; e c: a falha de não considerar o efeito de outros fatores ambientais, os quais afetam a taxa de desenvolvimento, na estimativa da temperatura-base.

Os valores de temperatura-base para o milho observados por diferentes autores citados por OLIVERA (1986) variam de 4°C a 10°C, no sub-período de emergência pendoamento e 10°C a 12°C, no sub-período pendoamento - maturação.

2.1.2. Disponibilidade hídrica

A água é essencial para a fisiologia da planta, desde a germinação até o final do ciclo, sendo que a quantidade disponível no solo durante as sub-períodos fenológicas da cultura é amplamente reconhecida como fundamental para o sucesso da produção.

Alguns autores argumentam que para produções de 5-9 toneladas por hectare, as necessidades hídricas do milho situam-se entre 500 a 800 mm de água, sendo que o consumo médio raramente excede a 2,5 mm/dia, enquanto a planta estiver com menos de 30 cm de altura. O consumo vai aumentar gradualmente até atingir cerca de 6,5 a 7,5 mm/dia, durante o período de espigamento à maturação; quando ocorrem pequenos intervalos de intenso calor e baixa umidade do ar, o consumo poderá atingir 10 mm/dia (OLIVEIRA, 1990).

Segundo Pinto (1973) citado por SANS et al (1976) é difícil isolar o efeito de uma variável meteorológica sobre o rendimento de uma cultura em condições de campo. Entretanto, utilizando-se métodos estatísticos envolvendo variáveis meteorológicas e rendimento de uma cultura, pode-se avaliar esta quantitativamente.

Hsia et al (1976) citado por VAUX et al (1983) apresentaram um diagrama simplificado de efeitos gerais do estresse de água sobre o rendimento que torna evidente a

multiplicidade das interações entre o grau de estresse de água, crescimento, desenvolvimento, estádios ontogênicos e rendimento. Classificou a severidade do déficit hídrico em dois níveis: 1.- O estresse é demasiadamente moderado para fechar os estômatos e inibir a fotossíntese, e ainda para afetar grandemente outros parâmetros do crescimento. 2.- O estresse é bastante severo para permitir ao potencial da água da folha cair abaixo do nível para iniciar o fechamento dos estômatos.

Segundo FRERE et al (1986) os períodos críticos de déficit hídrico no solo, no caso do milho, são os períodos desde o pendoamento até o enchimento do grão.

VAUX et al (1983) consideram que os efeitos do déficit hídrico sobre o rendimento são basicamente uma função do grau e duração do déficit, a natureza do órgão ou partes da planta a serem colhidas e o estágio de crescimento da planta quando o déficit é imposto.

ROBINS & DOMINGO (1953), DENMEAD & SHAW (1960) e STEWART et al (1975), entre outros, mostraram que déficits hídricos são mais prejudiciais nos períodos de pendoamento, embonecamento e polinização. ROBINS & DOMINGO (1953) constataram que um estresse severo de 1-2 dias durante o pendoamento pode reduzir a produção em mais de 20% e quando atinge 6-8 dias diminui em mais de 50%.

GOODWIN & SANS (1976) consideram o período de

60-80 dias após o plantio como representativo dos três períodos críticos já citados, sendo que este período pode iniciar-se de 55 a 65 dias após o plantio e continuar até 76-86 dias. Já SANS et al (1976) considerou um período de 42 dias, distribuídos em 21 dias antes e 21 dias após o período de pendoamento.

Frattini (1975) citado por FANCELLI (1983) assinala que períodos de déficit hídrico de uma semana por ocasião do pendoamento, podem promover queda da produção ao redor de 50%, ao passo que sob as mesmas condições, déficits posteriores à polinização acarretam danos de 30%.

GARCIA (1991) considera que as variações climáticas depois do décimo decêndio, tem pouca ou nenhuma influência sobre a produtividade do milho, nas condições de Lagunera, Mexico.

2.2. Influência da época de plantio

A determinação da época apropriada de semeadura tem um papel fundamental na identificação de sistemas de manejo que possam atenuar os efeitos adversos dos fatores climáticos, melhorando o desempenho da cultura.

A época de plantio é um fator importante na determinação da produção, devido à interação entre data de

plantio, exigência de água pela planta, e distribuição da chuva durante o ano agrícola.

Com a variação na época de semeadura do milho dentro da estação de crescimento, ocorrem modificações na disponibilidade de radiação, precipitação, temperatura e, como consequência, algumas características da planta podem ser afetadas, estando entre elas os componentes de rendimento (NOLDIN et al 1988).

UITDEWILLIGEN et al (1971) assinalam que a maioria dos trabalhos que envolvem o estudo da duração do período da emergência ao pendoamento indicam que este estágio requer menor número de dias para ser completado a medida que se atrasa a época de semeadura, tornando muito difícil a previsão da data em que cada híbrido ou cultivar irá pendoar. Obtiveram uma variação significativa entre épocas na duração em dias da emergência ao pendoamento, para as condições do RS.

A duração do período de emergência ao florescimento é muito variável com as diferentes épocas de semeadura, apresentando uma redução à medida que a semeadura se retarda, dentro do período recomendado (OLIVEIRA, 1990).

SUTILI et al (1976) e UITDEWILLIGEM (1971), reportam reduções do rendimento com o retardamento da semeadura de 40 a 72%, respectivamente na região da Depressão Central do RS.

NOLDIN et al (1988) também constatararam um decréscimo na ordem de 9% no rendimento de grãos de 3 cultivares de milho de uma primeira (08-10-84) para uma segunda (11-01-85) época de semeadura; os componentes de rendimento afetados foram número de filas de óvulos/espigas, óvulos/espigas e peso de grãos.

SOUZA (1989) constatou que o atraso na época de semeadura nos municípios de Lavras e Sete Lagoas-MG provocaram decréscimos acentuados na altura da planta e da inserção da espiga, promovendo um menor crescimento das plantas.

OLIVEIRA (1990), em estudo de época de plantio para o norte de Mato Grosso do Sul, conclui que o atraso da época de semeadura, produz um decréscimo acentuado, principalmente no número de espigas, prolificidade e rendimento de grãos.

MUNDSTOCK (1970) e UITDEWILLIGEN (1971) consideram que a época de semeadura mais adequada é aquela que faz coincidir o período de floração com os dias mais longos do ano e a etapa de enchimento de grãos com o período de temperatura mais elevadas e alta disponibilidade de radiação solar, isto considerando-se satisfeitas as necessidades de água pela planta no solo.

Assim, segundo FANCELLI (1983), a época favorável para o plantio do milho em condições tropicais e

subtropicais no Brasil encontra-se compreendida entre 1º de outubro a 15 de novembro.

GOODWIN et al (1976) para as condições de Sete Lagoas (MG), obteve que as épocas de plantio que maximizam a probabilidade de água para satisfazer a evapotranspiração potencial durante a época de polinização são: primeiro, 11 de outubro; segunda, 1 de outubro e terceira, 21 de outubro.

No estado de São Paulo, evidências experimentais indicam que o plantio efetuado em meados de outubro é o mais recomendável, como mostra, por exemplo o trabalho realizado por ALFONSI et alii (1989), simulando 10 épocas de plantio, para a cultura do milho no estado, através do cálculo dos níveis de probabilidade de atendimento, pela chuva, da demanda hídrica do sub-período de florescimento a enchimento de grãos. A demanda hídrica da cultura foi estimada apartir da evapotranspiração de referência (ET_o), multiplicada pelos coeficientes de cultura em cada estágio de desenvolvimento. As épocas estenderam-se de setembro a novembro, com intervalos decendiais, assumindo-se que o sub-período crítico é a que vai do florescimento ao enchimento de grãos, ocorrendo entre 50 e 100 dias após o plantio.

Os autores acima citados concluíram que a melhor época de plantio para a região leste do estado situa-se entre 1 e 11 de outubro, com pequenas variações entre locais, sendo que para outras regiões as épocas de plantio

são semelhantes às da região leste, com um decréscimo nos valores de probabilidade de atendimento hídrico nas fases fenológicas críticas, no sentido leste/nordeste para oeste/noroeste do estado.

Embora no citado trabalho tenha-se fixado o início de florescimento aos 50 dias após o plantio, sabe-se que plantios antecipados podem aumentar o ciclo da cultura, sem a correspondente antecipação do florescimento, enquanto que plantios tardios dentro da época recomendada reduzem o ciclo (FANCELLI, 1983); já TOMMASELLI (1992) indica que a medida que as épocas de plantio se estendem além do terceiro decêndio de novembro, a duração do ciclo aumenta acentuadamente no norte do Paraná. Isto ocorre em função das exigências térmicas e possivelmente fotoperiódicas do milho, não consideradas no trabalho de ALFONSI et alii (1989), embora na situação geográfica do Brasil o milho não seja sensível ao fotoperíodo.

Desde o início dos anos 70 os modelos estatísticos agrometeorológicos de regressão vem sendo aplicados em sistemas de previsão de produção em vários países, com razoável sucesso e tem sido usados para verificar o efeito da época de plantio sobre a produção.

No Brasil, CHEN & FONSECA (1980) determinaram os efeitos do clima e da tecnologia na cultura do milho, pela análise de correlação, em Ribeirão Preto, no estado de São

Paulo. Os elementos meteorológicos mensais que tiveram maiores influencias na produtividade do milho foram a evaporação total e a umidade relativa de outubro a março.

~~T~~ Os elementos meteorológicos utilizados na análise foram significativos em dezembro, indicando que este é o mês crítico para a produção de milho.

SILVA et alii (1986) desenvolveram modelos de previsão de produtividade do milho no estado de São Paulo, cobrindo o período de outubro a março. Os melhores resultados em termos de previsão, foram obtidos com equações relacionado o rendimento às deficiências hídricas dos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e mais uma variável associada a tendência tecnológica.

CUELLAR (1990) desenvolveu modelos agroclimáticos para estimar a produtividade da cultura de milho para oito localidades do estado de Minas Gerais, com base na tendência tecnológica e em variáveis derivadas do balanço hídrico decendial, isto é: necessidades hídricas, excesso hídrico, déficit hídrico e o índice "I" das necessidades hídricas. Os modelos foram desenvolvidos utilizando-se técnicas de regressão múltipla.

LIU et al (1989) mencionam que os modelos estatísticos frequentemente fracassam na detecção de efeitos de ataques de insetos, enfermidades, eventos climáticos anormais tais como secas severas e prejuízos por inundação,

bem como da variabilidade devido ocorrência de condições climáticas extremas.

Várias aproximações foram tentadas para aperfeiçoar esses modelos, tais como diminuição de períodos de cálculo de mensais para semanais, redefinição dos períodos mais sensíveis ao rendimento, ou melhor formulação da disponibilidade de água, através do índice de umidade da cultura.

As mais recentes melhoras para produzir uma previsão confiável do rendimento da cultura incorporam modelos de simulação do crescimento da planta para estimar sua produção em grandes áreas.

BERLATO et alii (1976) mencionam que esses modelos relacionam variáveis meteorológicas com o crescimento e desenvolvimento das plantas, os quais podem ser úteis para um melhor entendimento das relações planta-clima e também para prognósticos de rendimento da cultura, dada uma condição climática.

Tais modelos são baseados, em grande parte, em mecanismos que descrevem as interações de vários processos fisiológicos da planta, tendo o potencial para simular com uma boa acurácia o crescimento da cultura sob uma grande amplitude de condições, com pouco ou nenhum ajustamento para localidades individuais (HODGES et alii, 1987).

Na década dos anos 80, uma série de modelos de

simulação dos processos fisiológicos da planta denominada CERES foi desenvolvida pelo Grassland Soil And Water Laboratory, sendo um deles o modelo CERES-Maize (JONES & KINIRY, 1986). O CERES-Maize permite a estimativa do ~~crescimento~~, do desenvolvimento e da produção do milho, cujas simulações são feitas usando dados meteorológicos, fenológicos e condições iniciais de água no solo. Requer dados meteorológicos diários de temperatura do ar máxima e mínima, precipitação e radiação solar global (COSTA, 1982).

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local e Épocas do Experimento

Para o estudo foi utilizada a base de dados das observações fenológicas e de produção referente ao ensaio de híbridos e épocas de semeadura de Milho da firma AGROCERES, localizado em Santa Cruz das Palmeiras, S.P.

Santa Cruz das Palmeiras está localizada à latitude 21°50'S, longitude de 47°16'W e altitude de 644m. A temperatura média anual é 20,5°C com uma variação mensal desde 16,5°C em julho até 23,0°C em janeiro; a precipitação média anual de 1339 mm.

O tipo de solo da estação experimental é Latossolo vermelho escuro, sub-período cerrado. Foram feitas análises do solo para cada ano e adubou-se de acordo com as necessidades usando a mesma adubação para todas as épocas.

Na data de semeadura, o experimento foi irrigado caso não tenha havido chuvas adequadas para germinação.

Estes ensaios foram realizados ao longo de 6 anos (1987-1993), em cada ano, dentro do período considerado,

avaliando-se 15 épocas de semeadura espaçadas de 15 dias, iniciando na primeira semana de setembro até a primeira semana de abril e sendo usados 15 híbridos, tanto da AGROCERES como de outras empresas produtoras de sementes de milho.

3.2. Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos foram obtidos do posto meteorológico instalado na estação experimental da Agrocerees em Santa Cruz das Palmeiras. Os dados usados foram:

- Temperatura média do ar, em °C (Tmed)
- Temperatura máxima do ar, em °C (Tmax)
- Temperatura mínima do ar, em °C (Tmin)
- Precipitação, em mm (P).

3.3. Híbrido

Foi selecionado o híbrido AG 106 da Agrocerees por estar presente ao longo dos seis anos que foram analisados, o qual apresenta as seguintes características:

Tipo:duplo

Porte: alto (2,60 m /1,50 m)

Tipo de grão: semi-dentado amarelo

Ciclo: normal (150 dias) emergência-colheita

Exigência de manejo: média-baixa

Época de plantio: setembro-janeiro

Utilização: grão e silagem

3.4. Relações entre duração do ciclo e variáveis físicas do ambiente

Adaptou-se a metodologia testada por MASSIGNAM (1987) em girassol, relacionando a duração da sub-período de semeadura à florescimento (SF), florescimento à colheita (FC) e do ciclo todo (SC), com parâmetros climáticos, trabalhando-se em base de quinquídios, basicamente considerando os fatores térmicos e hídricos.

O critério utilizado na determinação da floração foi a data na qual o híbrido atingiu 50% de florescimento em todas as repetições.

No caso da colheita não houve um critério específico para sua realização, dependendo muito mais das condições meteorológicas existentes.

O fator fotoperíodo não foi considerado em função da insensibilidade do híbrido AG 106 e à situação geográfica do Brasil.

Na tabela 1 são apresentadas as datas de semeadura, floração e data de colheita para as 15 épocas e os 6 anos considerados no estudo.

Tabela 1: Datas de semeadura, floração e colheita das 15 épocas, para cada ciclo analisado.

CICLO 87 - 88				CICLO 88 - 89			
EP	SEMEADURA	FLORAÇÃO	COLHEITA	EP	SEMEADURA	FLORAÇÃO	COLHEITA
1	09/02/87	11/18/87	01/22/88	1	09/01/88	11/18/88	02/04/89
2	09/16/87	11/27/87	02/08/88	2	09/16/88	11/30/88	02/17/89
3	10/01/87	12/07/87	02/23/88	3	10/01/88	12/16/88	03/01/89
4	10/16/87	12/20/87	03/11/88	4	10/15/88	12/26/88	03/14/89
5	10/31/87	01/04/88	03/25/88	5	11/03/88	01/12/89	04/10/89
6	11/11/87	01/19/88	04/12/88	6	11/16/88	01/26/89	04/12/89
7	12/01/87	02/01/88	05/06/88	7	12/02/88	02/07/89	04/20/89
8	12/16/87	02/16/88	05/23/88	8	12/16/88	02/25/89	05/19/89
9	12/31/87	03/06/88	06/03/88	9	01/02/89	03/10/89	06/01/89
10	01/16/88	03/23/88	06/13/88	10	01/16/89	03/24/89	06/14/89
11	02/04/88	04/15/88	07/05/88	11	02/01/89	04/13/89	06/14/89
12	02/18/88	04/30/88	07/08/88	12	02/16/89	04/22/89	07/11/89
13	03/08/88	05/16/88	08/08/88	13	03/03/89	05/12/89	08/09/89
14	03/21/88	05/31/88	08/22/88	14	03/16/89	06/09/89	08/23/89
15	04/04/88	07/03/88	09/19/88	15	04/01/89	06/28/89	09/28/89

CICLO 89 - 90				CICLO 90 - 91			
EP	SEMEADURA	FLORAÇÃO	COLHEITA	EP	SEMEADURA	FLORAÇÃO	COLHEITA
1	09/02/89	11/21/89	02/06/90	1	09/01/90	11/14/90	02/06/91
2	09/16/89	12/02/89	02/19/90	2	09/17/90	11/30/90	02/22/91
3	10/02/89	12/13/89	03/09/90	3	10/01/90	12/11/90	03/08/91
4	10/16/89	12/23/89	03/16/90	4	10/16/90	12/19/90	03/08/91
5	11/01/89	01/09/90	03/16/90	5	11/01/90	01/04/91	03/20/91
6	11/16/89	01/22/90	04/12/90	6	11/16/90	01/19/91	04/16/91
7	12/01/89	02/03/90	05/03/90	7	12/01/90	02/05/91	05/09/91
8	12/16/89	02/26/90	05/16/90	8	12/17/90	02/19/91	05/20/91
9	01/02/90	03/21/90	06/11/90	9	01/02/91	03/06/91	05/20/91
10	01/16/90	03/28/90	06/11/90	10	01/16/91	03/22/91	06/18/91
11	02/01/90	04/07/90	07/19/90	11	02/01/91	04/09/91	06/18/91
12	02/16/90	04/25/90	07/20/90	12	02/16/91	04/24/91	06/26/91
13	03/01/90	05/13/90	08/13/90	13	03/01/91	05/16/91	08/08/91
14	03/16/90	06/04/90	08/28/90	14	03/16/91	06/08/91	08/27/91
15	04/02/90	06/29/90	09/12/90	15	04/01/91	07/03/91	09/18/91

EP = época

DATA = MM/DD/AA

Com relação ao fator térmico, foi calculado o total de graus-dia necessários para completar o sub-período SF, a partir dos valores de temperatura média do período considerado.

Segundo MASSIGNAM (1987) a previsão da duração dos sub-períodos SF, FC e do ciclo SC, baseando-se em graus-dia, calculados a partir das temperaturas extremas (T_{min} e T_{max}) não diferem significativamente dos valores obtidos quando usada a temperatura média.

Os graus-dia foram obtidos a partir de uma equação do tipo:

$$GD = (T_{MED} - T_B) \text{ NUM} \quad (1)$$

sendo:

GD = graus-dia

NUM = duração da sub-período em dias

T_{MED} = temperatura média do ar

T_B = temperatura-base

Considerando que os ensaios não foram sempre realizados sob condições hídricas ideais e que a faixa de temperatura pode ter induzido falta de linearidade na relação entre o desenvolvimento vegetal e esse elemento meteorológico, foram utilizados fatores de correção dos

graus-dia conforme proposto por MASSIGNAM (1987), no sentido de considerar a possível falta de linearidade do desenvolvimento relativo da cultura com a temperatura média e o efeito da ocorrência de um excesso ou um déficit hídrico.

O fator de correção dos graus-dia para disponibilidade hídrica (FH), foi definido por MASSIGNAM (1987) como:

$$FH = \frac{NH}{N} \quad (2)$$

onde:

NH = a duração do sub-período considerada em dias, que ocorreria se não houvesse excesso e ou deficiência hídrica no período.

N = duração do sub-período estimada através da equação de regressão múltipla.

A determinação de N foi feita através do análise de regressão múltipla, onde a duração observada do sub-período (NUM) é função da temperatura do ar, da deficiência hídrica (DEF) e do excesso (EXC), obtidas a partir do balanço hídrico sequencial no solo:

$$N = NUM (T_{MED}, T_{MED}^2, DEF, EXC)$$

A calibração e validação do modelo, foram realizadas considerando duas situações. Primeiro foram usados os 4 anos de dados na calibração e 2 para validar e na segunda situação foram considerados 5 anos para calibrar e 1 ano para validar. Os graus-dia foram corrigidos para os fatores térmico (linearidade da relação entre desenvolvimento relativo e temperatura) e hídrico.

O valor de NH para uma temperatura dada foi estimado mediante o modelo de regressão, fazendo o déficit e o excesso igual a zero, considerando estas como condições ótimas de disponibilidade hídrica no sub-período.

Para o sub-período semeadura à floração foram calculados os graus-dia corrigidos (GDC), já que a variável déficit (DEF) apresentou uma alta significância dentro do modelo de regressão múltipla, sendo estimados a partir da seguinte equação:

$$GDC = GD * FH \quad (3)$$

A temperatura-base considerada como a representativa das séries de semeaduras foi determinada pelos métodos da menor variabilidade segundo Arnold (1959) (SD), da intersecção da abscissa através da regressão (IAR) e de menor variabilidade (CV).

O método da menor variabilidade segundo Arnold

(1959) (SD) e menor coeficiente de variação (CV) baseam-se no cálculo dos totais de graus-dia para cada sub-período, utilizando-se diferentes valores de temperatura-base pré-escolhidos, considerando-se representativo da temperatura-base aquela que originou o menor desvio padrão dos graus-dia (sd) expresso em dias, e aquele que resultou com o menor coeficiente de variação, respectivamente.

O método da intersecção da abscissa através da regressão (IAR) basea-se na equação de regressão linear, entre a temperatura média da sub-período e o desenvolvimento relativo (DR), sendo o DR calculado pela seguinte equação:

$$DR = \frac{100}{NUM} \quad (4)$$

A temperatura-base resulta da solução da equação de regressão linear, para um valor de DR igual a zero.

Usando o gráfico do DRH (desenvolvimento relativo considerando que o déficit é igual a zero) em função da temperatura média do sub-período, o valor de temperatura-base foi obtido pela prolongação da reta com o eixo da abscissa, isto é, DRH igual a zero.

A determinação do efeito do fator hídrico, foi feita com parâmetros do balanço hídrico, calculado com as

modificações introduzidas no método original de Thornthwaite & Mather (1955), que basicamente consistiram em:

a.- Modificações devido à introdução do coeficiente de cultura (Kc) no balanço

O balanço hídrico foi realizado com valores determinados de evapotranspiração máxima (ET_m), em substituição à evapotranspiração de referência (ET_o), usada no balanço hídrico tradicional de Thornthwaite & Mather (1955). A ET_m esta relacionada com a ET_o através do coeficiente de cultura (Kc), como mostra a seguinte equação:

$$ET_m = K_c * ET_o \quad (5)$$

Na seleção dos valores de Kc usados no análise foram considerados os valores sugeridos por FRÉRE et al (1986), os quais são apresentados na tabela 2.

Foi selecionada a distribuição de 140 dias em função da duração do ciclo do híbrido AG 106 (150 d).

O déficit hídrico foi definido, por:

$$DEF = ET_m - ETR \quad (6)$$

onde:

ETR = Evapotranspiração real.

Tabela 2: Valores de Kc para Milho.

DECADA	Kc	DECADA	Kc
1	0,3	8	1,2
2	0,6	9	1,1
3	0,8	10	1,0
4	0,9	11	0,8
5	1,0	12	0,7
6	1,1	13	0,6
7	1,2	14	0,5

fonte: FRÉRE et al, 1986

b. Modificações na equação de armazenamento do solo.

Foi utilizada uma das equações testadas por DOURADO & VAN LIER (1993).

Sendo p a fração da água no solo (Rijtema & Aboukhaled, 1975), que é livremente disponível para planta, a variação do armazenamento até o valor de $pCAD$, é linearmente relacionada ao valor de negativo acumulado de $P-ET_m$ (NEG. AC) (Vide fig.1), ou seja,

$$ARM[NEG.AC.<pCAD] = CAD-NEG.AC.$$

(7)

Para valores de NEG. AC. maiores que $pCAD$ a exponencial negativa que expressa o armazenamento é dada por:

$$ARM[NEG.AC. \geq pCAD] = CAD(1-p) \exp^{-\frac{NEG.AC. - pCAD}{CAD(1-p)}} \quad (8)$$

Quando o valor absoluto do negativo é maior que zero e o armazenamento menor que CAD , podem ocorrer duas situações:

a.- O armazenamento é maior que zero e menor que $CAD(1-p)$; a expressão para NEG.AC. fica:

$$NEG.AC. [0 \leq ARM < CAD(1-p)] = CAD(1-p) \log \frac{ARM}{CAD(1-p)} - pCAD \quad (9)$$

b.- O valor de armazenamento é maior que $CAD(1-p)$, sendo a expressão do NEG. AC. igual a:

$$NEG.AC. [ARM > CAD(1-p)] = ARM - CAD \quad (10)$$

Figura 1. Definição do Armazenamento em função do negativo acumulado.

onde:

ARM = armazenamento

NEG AC = negativo acumulado

p = fração de água disponível no solo.

CAD = Capacidade de água disponível no solo.

Outro elemento importante do balanço hídrico é a seleção da capacidade de armazenamento de água no solo, ao alcance do sistema radicular da planta. FRÉRE et al (1986) apontou um valor de CAD = 50 mm para o milho. DOURADO et al (1987) assinalam como profundidade efetiva do sistema radicular da cultura do milho, um valor de 45 cm, que corresponde com aproximadamente à 98% da atividade relativa do sistema radicular, no estágio de pleno crescimento vegetativo, antes da floração, para um solo latossolo vermelho escuro.

Em função do acima citado, foram adotadas os valores de CAD variando de 20 mm desde a emergência até 30 dias após, de 40 mm entre 31 dias e 70 dias após o semeadura e 60 mm na sub-período reprodutiva (após 70 dias).

Para o cálculo do balanço hídrico em forma sequencial por quinquídios com todas as modificações propostas, foi elaborado um programa em linguagem DBXL.

Devido às limitações de parâmetros disponíveis a evapotranspiração potencial foi calculada pelo método de Thornthwaite & Mather (1955), sendo calculada diretamente pelo programa do balanço.

O balanço hídrico começou a ser calculado na data de semeadura, assumindo-se que nela o armazenamento hídrico no solo era máximo. Essa é uma aproximação aceitável, desde que o semeadura era feito logo após um período chuvoso

Onde

Y_a = rendimento atual

Y_m = rendimento potencial

ET_a = evapotranspiração atual

ET_m = evapotranspiração máxima

K_y = fator de efeito sobre o rendimento

Os cálculos foram realizados para as fases vegetativa (desde o semeadura até 10 dias anteriores a 50% da floração), floração (entre 10 dias antes do 50% de floração e 10 dias após) e formação de colheita (entre 10 e 45 dias após a floração), considerando os seguintes valores de K_y : 0,4; 1,5 e 0,5 (recomendados pela FAO), respectivamente.

Pelas limitações de informação meteorológicas considerou-se como rendimento potencial (Y_m) um valor de 11,00 t/ha, o qual é citado na literatura e que está próximo do maior valor encontrado na série de semeaduras que serviram de base a este estudo.

Os casos onde a relação $(1 - ET_a/ET_m)$ foram maiores que 0,40 foram descartados da análise, já que o modelo é aplicável para situações em que $1-ET_a/ET_m$ está entre 0 e 0,5

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Efeito das variáveis na duração das fases fenológicas

Foram analisadas as variáveis temperatura média do ar (T_{MED}), déficit (DEF) e excedente (EXC) hídrico do solo para estimar seus efeitos sobre a duração das diferentes fases fenológicas do milho.

4.1.1. Modelos de regressão entre a duração dos sub-períodos e as variáveis estudadas

Na determinação do modelo para estimar o número de dias dos sub-períodos semeadura à floração (SF), floração à colheita (FC) e do ciclo semeadura à colheita (SC) do híbrido AG 106, em função das variáveis acima assinaladas, foi usada regressão múltipla passo a passo.

As tabelas 3 e 4 apresentam a análise estatística dos modelos mais representativos da duração em dias (N) do sub-período semeadura à floração considerando 4 e 5 anos de dados, respectivamente.

Tabela 3 : Modelo mais representativo da duração em dias do sub-período plantio à floração, em função da T_{MED} e do DEF no solo, considerando 4 anos de dados.

Variável	Coefficiente	Erro padrão	Valor "T"
Intercepto	318,028	80,013	3,975
T_{MED}^2	-18,142	7,079	-2,563**
T_{MED}	0,322	0,156	2,063**
DEF	0,104	0,019	5,244*

Análise de variância da regressão.

Fonte	SQ	GL	QM	F	R ²
modelo	2423,52	3	807,84	70,77	0,79**
erro	639,21	56	11,41		
total	3062,73	59			

** sig. 1% * sig. 5%

Modelo:

$$N = 318,03 - 18,14 T_{MED} + 0,32 T_{MED}^2 + 0,10 DEF$$

$$T_{MED} = 19,1^{\circ}\text{C a } 25^{\circ}\text{C}$$

Tabela 4: Modelo mais representativo da duração em dias do sub-período plantio à floração, em função de T_{MED} e DEF no solo, considerando 5 anos de dados.

Variável	Coeficiente	Erro padrão	Valor "T"
Intercepto	303,182	76,659	3,955
T_{MED_2}	-16,615	6,766	-2,455**
T_{MED}	0,284	0,149	1,906**
DEF	0,100	0,016	6,181*

Análise de variância da regressão.

Fonte	SQ	GL	GM	F	R^2
modelo	2892,76	3	964,25	80,95	0,77**
erro	845,72	71	11,91		
total	3738,48	74			

** sig 1% * sig 5%

Modelo:

$$N = 303,18 - 16,62 T_{MED} + 0,28 T_{MED}^2 + 0,10 DEF$$

$$T_{MED} = 19,1^{\circ}\text{C a } 25,0^{\circ}\text{C}$$

Como pode-se observar, as duas equações são similares e o coeficiente para a variável déficit mantém-se constante e altamente significativo.

O coeficiente de determinação (R^2) é 0,79 quando considerados 4 anos, sendo que diminui para 0,77 no caso dos 5 anos.

A temperatura apresentou um efeito linear e quadrático na duração do sub-período semeadura à floração, na faixa de temperaturas médias consideradas, sendo a mínima 19,1°C e a máxima 25,0°C.

O máximo desenvolvimento relativo (DR), em função do valor mínimo de N estimado a partir do modelo de regressão, seria promovido por uma temperatura média de 29,7°C com um N de 56,6 dias e DR igual a 1,77 para os 5 anos e 28,3°C, com N igual a 61 e DR 1,64 para os 4 anos. Assim a faixa de temperaturas usadas na análise ficou abaixo daquela na qual o desenvolvimento relativo seria máximo.

Em relação às variáveis DEF e EXC, a segunda não foi considerada dentro do modelo, já que não apresentou um efeito significativo.

O déficit teve um efeito linear, sendo que seu aumento pode gerar um acréscimo na duração do sub-período (SF), na faixa de valores observados.

A duração do sub-período semeadura à floração apresentou-se altamente correlacionada com a temperatura

média do período correspondente, indicando que foi esta a variável que melhor explicou sua duração, observando-se que a duração do sub-período diminui com o incremento da temperatura média do período, coincidindo estes resultados com aqueles relatados por outros autores (BERLATO et alii, 1974; DUNCAN et al, 1973) MUCHOW et al (1991) que assinalam que a temperatura é a principal influenciadora da duração do ciclo.

As figuras 2a e 2b mostram os valores de desenvolvimento relativo observado (DRO), desenvolvimento relativo estimado se não houvesse déficit ou excesso hídrico (DRH) e desenvolvimento relativo calculado pelo modelo de regressão (DRE).

Observa-se nessas figuras a linearidade do desenvolvimento relativo com a temperatura, e a diferença entre o DRE e aquele sob condições hídricas ótimas (DRH), isto é, DEF e EXC iguais a zero.

Para o sub-período floração à colheita e ciclo sementeira à colheita, não se encontrou uma boa correlação linear entre a duração do sub-período e as variáveis em estudo, apresentando baixos coeficientes de determinação (0,06 para FC e 0,12 para SC) para cada sub-período (tabelas 5 e 6). Isto indica a probabilidade de que outras variáveis não estudadas tiveram maior influência, as quais teriam que ser isoladas para determinar o efeito da temperatura.

Figura 2a: Desenvolvimento relativo observado (DRO), estimado sob condições ótimas de água no solo (DRH) e estimado pela regressão (DRE). (dados de 4 anos)

Figura 2b : Desenvolvimento relativo observado (DRO), estimado sob condições ótimas de água no solo (DRH) e estimado pela regressão (DRE). (dados de 5 anos)

Tabela 5: Modelo de regressão linear entre a duração em dias do sub-período FC, T_{MED} , DEF e EXC hídrico do solo (dados de 4 anos)

Variável	Coefficiente	Erro padrão	Valor "T"
Intercepto	101,645	14,347	7,087
T_{MED}	-0,762	0,686	-1,111ns
DEF	-0,093	0,048	-1,922*
EXC	0,003	0,013	0,259ns

Análise de variância da regressão.

Fonte	SQ	GL	QM	F	R ²
modelo	446,182	3	148,72	1,49	0,22ns
erro	7138,56	71	100,54		
total	7584,75	74			

* sig 5%

Tabela 6: Modelo de regressão linear entre a duração em dias do ciclo plantio à colheita, temperatura média, deficiência e excedente hídrico do solo. (dados de 5 anos).

Variável	Coefficiente	Erro padrão	Valor "T"
Intercepto	191,176	22,464	8,510
T_{MED}	-1,378	1,059	-1,301ns
DEF	-0,014	0,034	-0,411ns
EXC	-0,010	0,001	-1,062ns

Análise de variância da regressão.

Fonte	SQ	GL	QM	F	R ²
modelo	1006,89	3	335,63	3,12	0,12*
erro	7648,90	71	107,731		
total	8655,79	74			

* sig. 5% ns: não sig.

O híbrido AG 106 teve uma maior resposta na duração dos sub-períodos para as variáveis estudadas no sub-período semeadura à floração, do que no sub-período floração à colheita e o ciclo semeadura à colheita, o que coincide com o sugerido por WANG (1960) em relação a resposta diferencial das plantas para um mesmo fator ambiental, durante as fases fenológicas do ciclo de vida.

Além do efeito de outras variáveis, os baixos coeficientes de determinação obtidos nos modelos do sub-períodos FC e o ciclo SC, podem estar influenciados pela falta de um critério comum (fisiológico) para se realizar a colheita em cada época de semeadura, já que em algumas épocas o milho permaneceu no campo provavelmente por muito mais tempo após ter atingido seu máximo acúmulo de matéria seca.

A duração média dos sub-períodos semeadura à floração e floração à colheita foram 72 e 83 dias para uma duração média do ciclo de 156 dias, apresentando um baixo coeficiente de variação (cv) no sub-período SF, sendo maior para a fase FC. Esse maior valor do cv foi função principalmente da grande variabilidade nas datas de colheita.

4.1.2. Fator de correção dos graus-dia

Os graus-dia foram corrigidos para o sub-período semeadura à floração, em função das condições

hídricas do solo e da possível falta de linearidade entre a temperatura média do ar e o desenvolvimento relativo.

As equações de regressão linear entre o desenvolvimento relativo sob condições hídricas ótimas no solo (DRH) e a temperatura média da ar, para 4 e 5 anos, são apresentados na tabela 7. Observa-se que não existiu a necessidade de correção para a falta de linearidade entre a temperatura e o desenvolvimento relativo, já que os valores de R^2 em ambas as situações são aproximadamente 1 (0,998 e 0,996), indicando a existência de uma ótima associação entre o desenvolvimento relativo e a faixa de temperaturas médias consideradas na análise.

Tabela 7 : Equações de regressão linear entre desenvolvimento relativo (DRH) e temperatura média do ar para o sub período PF, para 4 e 5 anos, respectivamente

Variável	Coefficiente	Erro padrão	R^2
Intercepto	-0,3273	0,0037	0,998
T_{MED}	0,0771		
$DRH = -0,3273 + 0,0771 T_{MED}$			
Intercepto	-0,1654	0,0077	0,996
T_{MED}	0,0689		
$DRH = -0,1654 + 0,0689 T_{MED}$			

Nas tabelas 8 e 9 são apresentados os valores de duração observados no sub-período em dias (NUM); da estimada através do modelo de regressão (N); da que ocorreria se não houvesse excedente ou deficiência hídrica no período (NH) e do fator de correção dos graus-dia para disponibilidade hídrica (FH).

O valor de FH variou de 0,87 a 1,00 e 0,88 a 1,00 para os 5 e 4 anos de dados, sendo que os menores valores ocorreram aproximadamente em 2 e 3% do total dos casos, sendo mais frequentes os valores acima de 0,98 (58%), dos quais em 26 e 28% dos casos foi a um (1,00).

As figuras 3 e 4 mostram os valores do desenvolvimento relativo em função da temperatura para o sub-período floração à colheita e o ciclo semeadura à colheita. Nota-se a grande dispersão dos dados e ausência de tendência entre as variáveis.

O sub-período floração à colheita e o ciclo semeadura à colheita, apresentaram baixa correlação entre o desenvolvimento relativo e a temperatura média do ar.

4.1.3. Determinação da temperatura base

Tendo em vista o exposto no último parágrafo do item precedente, a temperatura-base foi estimada somente para o sub-período semeadura à floração.

**Tabela 8: Durações observadas e estimadas do sub período
semeadura à floração em dias e fator de correção
(FH) dos graus-dia.**

DATA	NUM	N	NH	FH	DATA	NUM	N	NH	FH
09/02/87	78	76,25	69,42	0,91	09/02/89	81	78,33	75,51	0,96
09/16/87	73	74,38	67,85	0,91	09/16/89	78	76,22	74,24	0,97
10/01/87	68	66,23	65,93	1,00	10/02/89	73	73,79	72,26	0,98
10/16/87	66	66,09	64,97	0,98	10/16/89	69	71,57	71,14	0,99
10/31/87	66	66,95	64,75	0,97	11/01/89	70	70,12	70,09	1,00
11/11/87	70	65,16	64,75	0,99	11/16/89	68	67,85	67,85	1,00
12/01/87	63	66,28	63,36	0,96	12/01/89	65	68,48	66,72	0,97
12/16/87	63	66,89	63,73	0,95	12/16/89	73	68,89	65,93	0,96
12/31/87	67	63,83	63,36	0,99	01/02/90	79	69,64	64,75	0,93
01/16/88	68	63,73	63,73	1,00	01/16/90	72	65,77	64,53	0,98
02/04/88	72	67,94	65,44	0,96	02/01/90	66	66,74	65,20	0,98
02/18/88	73	73,09	65,93	0,90	02/16/90	69	67,93	67,85	1,00
03/08/88	70	72,12	68,77	0,95	03/01/90	74	70,63	70,44	1,00
03/21/88	72	73,74	71,51	0,97	03/16/90	81	78,21	78,21	1,00
04/04/88	91	82,72	79,65	0,96	04/02/90	89	90,24	87,12	0,97
09/01/88	79	74,68	69,42	0,93	09/01/90	75	72,69	72,64	1,00
09/16/88	76	69,90	68,46	0,98	09/17/90	75	69,57	69,09	0,99
10/01/88	77	70,82	68,46	0,97	10/01/90	72	68,13	66,45	0,98
10/15/88	73	70,75	68,46	0,97	10/16/90	65	68,20	66,72	0,98
11/03/88	71	67,30	66,72	0,99	11/01/90	65	66,56	65,93	0,99
11/16/88	72	66,18	66,18	1,00	11/16/90	65	66,99	66,99	1,00
12/02/88	68	67,05	66,45	0,99	12/01/90	67	66,99	66,99	1,00
12/16/88	72	65,93	65,93	1,00	12/17/90	65	67,52	66,99	0,99
01/02/89	68	66,88	65,44	0,98	01/02/91	64	68,50	67,27	0,98
01/16/89	68	66,27	64,97	0,98	01/16/91	66	67,05	66,99	1,00
02/01/89	72	68,57	64,97	0,95	02/01/91	68	70,09	70,09	1,00
02/16/89	66	69,75	65,20	0,93	02/16/91	68	72,11	71,88	1,00
03/03/89	71	71,58	68,15	0,95	03/01/91	77	77,74	77,74	1,00
03/16/89	86	83,47	73,43	0,88	03/16/91	85	83,97	83,77	1,00
04/01/89	89	86,81	80,14	0,92	04/01/91	94	95,16	88,30	0,93

DATA = data de semeadura (m/d/a) NUM = duração observada N = duração est. pelo modelo
 NH = duração est. son condições ótimas de água no solo
 FH = fator hídrico de correção dos graus-dia

**Tabela 9: Durações observadas e estimadas do sub-período
semeadura à floração em dias e fator de correção
(FH) dos graus-dia.**

DATA	NUM	N	NH	FH	DATA	NUM	N	NH	FH
09/02/87	78	75,13	68,30	0,91	01/02/90	79	67,83	62,94	0,93
09/16/87	73	73,09	66,56	0,91	01/16/90	72	63,92	62,68	0,98
10/01/87	68	64,65	64,35	1,00	02/01/90	66	65,03	63,49	0,98
10/16/87	66	64,34	63,22	0,98	02/16/90	69	66,64	66,56	1,00
10/31/87	66	65,14	62,94	0,97	03/01/90	74	69,61	69,42	1,00
11/11/87	70	63,35	62,94	0,99	03/16/90	81	77,64	77,64	1,00
12/01/87	63	64,13	61,21	0,95	04/02/90	89	89,83	86,71	0,97
12/16/87	63	64,84	61,68	0,95	09/01/90	75	71,85	71,80	1,00
12/31/87	67	61,68	61,21	0,99	09/17/90	75	68,42	67,94	0,99
01/16/88	68	61,68	61,68	1,00	10/01/90	72	66,64	64,96	0,97
02/04/88	72	66,27	63,77	0,96	10/16/90	65	66,74	65,26	0,98
02/18/88	73	71,51	64,35	0,90	11/01/90	65	64,98	64,35	0,99
03/08/88	70	70,94	67,59	0,95	11/16/90	65	65,58	65,58	1,00
03/21/88	72	72,81	70,58	0,97	12/01/90	67	65,58	65,58	1,00
04/04/88	91	82,19	79,12	0,96	12/17/90	65	66,11	65,58	0,99
09/01/88	79	73,56	68,30	0,93	01/02/91	64	67,13	65,90	0,98
09/16/88	76	68,68	67,24	0,98	01/16/91	66	65,64	65,58	1,00
10/01/88	77	69,60	67,24	0,97	02/01/91	68	69,04	69,04	1,00
10/15/88	73	69,53	67,24	0,97	02/16/91	68	71,21	70,98	1,00
11/03/88	71	65,84	65,26	0,99	03/01/91	77	77,16	77,16	1,00
11/16/88	72	64,65	64,65	1,00	03/16/91	85	83,52	83,32	1,00
12/02/88	68	65,56	64,96	0,99	04/01/91	94	94,74	87,88	0,93
12/16/88	72	64,35	64,35	1,00	09/02/91	86	82,44	71,80	0,87
01/02/89	68	65,21	63,77	0,98	09/16/91	80	78,86	69,42	0,88
01/16/89	68	64,52	63,22	0,98	10/01/91	77	72,47	67,59	0,93
02/01/89	72	66,82	63,22	0,95	10/16/91	67	70,08	65,58	0,94
02/16/89	66	68,04	63,49	0,93	11/01/91	67	65,79	65,26	0,99
03/03/89	71	70,33	66,90	0,95	11/16/91	61	67,22	64,96	0,97
03/16/89	86	82,67	72,63	0,88	12/02/91	68	65,63	65,58	1,00
04/01/89	89	86,30	79,63	0,92	12/16/91	65	66,05	65,90	1,00
09/02/89	81	77,64	74,82	0,96	01/02/92	64	66,62	66,56	1,00
09/16/89	78	75,47	73,49	0,97	01/16/92	74	67,87	67,24	0,99
10/02/89	73	72,91	71,38	0,98	02/01/92	72	69,19	68,67	0,99
10/16/89	69	70,62	70,19	0,99	02/15/92	76	70,94	70,58	0,99
11/01/89	70	69,07	69,04	1,00	03/01/92	75	71,55	70,98	0,99
11/16/89	68	66,56	66,56	1,00	03/16/92	76	72,20	70,58	0,98
12/01/89	65	67,02	65,26	0,97	04/01/92	79	72,37	71,80	0,99
12/16/89	73	67,31	64,35	0,96					

DATA = data de semeadura (m/d/a) NUM = duração observada N = duração est. pelo modelo
 NH = duração est. sob condições ótimas de água no solo
 FH = fator hídrico de correção dos graus-dia

Figura 3. Desenvolvimento relativo do sub-período floração à colheita em função da temperatura média.

Figura 4. Desenvolvimento relativo do ciclo semeadura à colheita em função da temperatura média.

Na tabela 10 apresentam-se os modelos de regressão linear do desenvolvimento relativo (DR) em função da temperatura média para os sub-períodos SF, FC e o ciclo SC.

As figuras 5 e 6 apresentam os desvios padrões dos graus-dia expresso em dias (SD) e o coeficiente de variação (CV) em função da faixa de temperaturas-base pré-escolhidas, para o sub-período semeadura à floração, para a escolha do valor mais adequado de T_b . As figuras referem-se aos cálculos a partir de valores sem e com correção dos graus-dia para o fator hídrico.

Os valores de temperatura-base do sub-período SF obtidos através dos métodos de menor coeficiente de variação (CV), menor variabilidade segundo ARNOLD (1959) (SD), da intersecção da abscissa (IAR) e gráfico da intersecção da abscissa (IAG), são apresentados na tabela 11. Observa-se que a temperatura base dependeu do uso do fator de correção para o cálculo dos graus-dia e da faixa de valores usados.

Os valores de temperatura-base calculados pelos métodos (CV) , (SD) e (IAR) não diferem entre si, dentro das duas faixas de dados estudadas, mas diferem de uma faixa para outra, o que permite chamar a atenção em relação à

Tabela 10: Equações de regressão linear do desenvolvimento relativo (DR), para os sub-períodos SF, FC e do ciclo SC em função da T_{MED} .

Fase	Equação	Valor "F"	R ²
PF (4 anos)	$DR = -0,181 + 0,066T_{MED}$	99,24**	57,6**
PF (5 anos)	$DR = -0,283 + 0,071T_{MED}$	86,95**	59,9**
FC (5 anos)	$DR = 1,203 + 7,26 \times 10^{-4}T_{MED}$	0,01ns	0,02ns
PC (5 anos)	$DR = 0,454 + 8,27 \times 10^{-3}T_{MED}$	7,65**	9,5*

** sig. 1% ; * sig. 5% ns: não sig.

Tabela 11: Valores de Temperatura base do sub-período semeadura à floração.

Método	4 anos		5 anos	
	TB	TBC	TB	TBC
Menor variabilidade (CV)	3,0	2,0	4,0	3,0
Menor variab. ARNOLD (SD)	3,0	2,0	4,0	3,0
Intersecção da abs. (IAR)	2,7	-	4,0	-
Intersecção da ab. (IAG)	-	4,6	-	5,2

sem corrigir

corrigidos

Figuras 5: Desvio padrão dos graus-dia (SD) e o coef. de variação (CV) em função da T_b pre-escolhida.

Figura 6: Desvio padrão dos graus-dia (SD) e coef. de variação (CV) em função da T_B pre-escolhida.

importância na seleção da faixa de temperaturas a serem usadas na estimativa da temperatura-base, segundo o assinalado por ARNOLD (1959).

A temperatura-base determinada pelo método gráfico da intersecção da abscissa diferiu dos valores obtidos pelos outros métodos.

Os valores de temperatura base estimados através dos diferentes métodos, apresentaram valores menores quando usados os graus-dia corrigidos para o fator hídrico (FH), mostrando a presença do efeito dos fatores ambientais na estimativa da temperatura-base, como sugerido por diversos autores (ARNOLD, 1959; BROWN et al , 1960 e WANG, 1960).

Para os cálculos dos graus-dia foram utilizados as temperaturas base obtidas pelos métodos de menor coeficiente de variação (CV) e menor variabilidade segundo ARNOLD (SD).

4.1.4. Validação dos modelos de estimativa do sub-período semeadura à floração

A tabela 12 mostra os valores médios dos graus-dia para as temperatura-base escolhidas e seus parâmetros estatísticos.

Tabela 12: Valores medios dos graus-dia (GD), desvio padrão, CV e SD

	GD TB=3,0	GDC TB=2,0	GD TB=4,0	GDC TB=3,0
Média	1474,48	1502,99	1400,18	1428,65
Desvio padrão	83,20	70,80	81,86	68,56
CV	5,64	4,71	5,85	4,79
SD	4,06	3,29	4,21	3,36

TB = Temperatura base GDC = graus-dia corrigidos

Fazendo uso dos valores apresentados na tabela 12 e os modelos de regressão foi feita a validação, considerando um e dois anos de observações independentes daqueles que serviram para o estabelecimento das equações de regressão.

No caso de dois anos foram usados os valores para os ciclos de semeadura de 91-92 e 92-93, sendo apresentadas na tabela 13a e 13b, as estimativas de duração do sub-período a partir das equações de regressão e dos graus-dia exigidos, considerando-se as várias temperaturas-base adotadas.

As figuras 7a e 7b mostram o comportamento das estimativas feitas a partir de cada caso, em função da temperatura média, para cada época de semeadura.

Tabela 13a: Valores observados e estimados a partir do modelo de regressão e do uso de graus-dia da duração do sub-período plantio à floração, ciclo 91-92

EP	NUM	N	DN1	NTB3	DN2	NTB2	DN3	NTB*	DN4	NTB-	DN5
1	86	84,3	-1,7	76,4	-9,6	74,0	-12,0	78,7	-7,3	76,4	-7,6
2	80	79,9	-0,1	74,1	-5,9	71,9	-8,1	75,0	-5,0	72,9	-7,1
3	77	75,4	-1,6	72,3	-4,7	70,2	-6,8	72,2	-4,8	70,2	-4,8
4	67	71,0	4,5	70,2	3,2	68,3	1,3	69,1	2,1	67,2	-3,8
5	67	67,3	0,3	69,9	2,9	68,0	1,0	68,6	1,6	66,7	-0,3
6	61	68,7	7,7	69,6	8,6	67,7	6,7	68,1	7,1	66,2	-2,8
7	68	67,0	-1,0	70,2	2,2	68,3	0,3	69,1	1,1	67,2	0,2
8	65	67,4	2,4	70,5	5,5	68,6	3,6	69,6	4,6	67,6	0,6
9	64	69,1	5,1	71,2	7,2	69,3	5,3	70,6	6,6	68,6	-0,4
10	74	70,0	-4,0	71,9	-2,1	69,9	-4,1	71,7	-2,3	69,6	-0,4
11	72	70,7	-1,3	73,4	1,4	71,2	-0,8	73,9	1,9	71,8	0,8
12	76	74,5	-1,5	75,2	-0,8	73,0	-3,0	76,8	-0,8	74,6	-0,4
13	75	75,2	0,2	75,6	0,6	73,3	-1,7	77,4	2,4	75,2	0,2
14	76	74,8	-1,2	75,2	-0,8	73,0	-3,0	76,8	0,8	74,6	-0,4
15	79	75,4	-3,6	76,4	-2,6	74,0	-5,0	78,7	-0,3	76,4	1,4
R^2	0,81**		0,75**		0,74**		0,74**		0,75**		
d	2,41		3,87		4,18		3,25		2,08		
χ^2	2,30ns		4,82ns		5,36ns		3,40ns		2,05ns		

EP = época

DN1 = N - NUM

DN2 = NTB3 - NUM

DN4 = NTB10 - NUM

NUM = duração observada

N = duração est. pelo modelo

DN3 = NTB2 - NUM

DN5 = NTB10C - NUM

NTB3 = duração est. TB = 3,0°C

NTB2 = duração est. TB = 2,0°C

NTB* = duração est. TB = 10,0°C

NTB- = duração est. TBC = 10,0°C

** sig. 1% ns: não sig.

Tabela 13b: Valores observados e estimados a partir do modelo de regressão e do uso de graus-dia da duração do sub-período plantio à floração, ciclo 92-93

EP	NUM	N	ON1	NTB3	DN2	NTB2	DN3	NTB*	DN4	NTB-	DN5
1	75,0	90,2	15,2	76,8	1,8	74,4	-0,6	79,3	4,3	77,1	2,1
2	69,0	86,3	17,3	73,4	4,4	71,2	2,2	73,9	4,9	71,8	2,8
3	68,0	85,8	17,8	72,3	4,3	70,2	2,2	72,2	4,2	70,2	2,2
4	66,0	85,3	19,3	71,2	5,2	69,3	3,3	70,6	4,6	68,6	2,6
5	66,0	86,3	20,3	70,9	4,9	68,9	2,9	70,1	4,1	68,1	2,1
6	72,0	78,8	6,8	69,9	-2,1	68,0	-4,0	68,6	-3,4	66,7	-5,3
7	63,0	72,1	9,1	69,2	6,2	67,4	4,4	67,7	4,7	65,7	2,7
8	63,0	67,6	4,6	68,6	5,6	66,8	3,8	66,7	3,7	64,8	1,8
9	60,0	65,9	5,9	68,9	8,9	67,1	7,1	67,2	7,2	65,3	5,3
10	65,0	69,6	4,6	68,6	3,6	66,8	1,8	66,7	1,7	64,8	-0,2
11	68,0	69,7	1,7	69,9	1,9	68,0	0,0	68,6	0,6	66,7	-1,3
12	67,0	68,4	1,4	70,5	3,5	68,6	1,6	69,6	2,6	67,6	0,6
R ²	0,43**		0,59**		0,58**		0,56**		0,88**		
d	10,33		4,37		2,83		3,27		1,28		
X ²	27,33**		4,29ns		2,13ns		3,17ns		1,47ns		

EP = época

NUM = duração observada

NTB3 = duração est. TB = 3,0°C

DN1 = N - NUM

N = duração est. pelo modelo

NTB2 = duração est. TB = 2,0°C

DN2 = NTB3 - NUM

DN3 = NTB2 - NUM

NTB* = duração est. TB = 10,0°C

DN4 = NTB10 - NUM

DN5 = NTB10C - NUM

NTB- = duração est. TBC = 10,0°C

** sig. 1% ns: não sig.

Figuras 7: Duração observada do sub-período plantio à floração e as diferentes estimativas.

Observa-se para o ciclo 91-92 que as estimativas da duração do sub-período (SF), obtidas com as temperaturas-base obtidas a partir da correção para o fator hídrico tenderam a subestimar a duração do sub-período, sendo que as não corrigidas o superestimaram. Já no ciclo 92-93 todas as estimativas tenderam a superestimar a duração do sub-período.

Pode-se notar que para o ciclo 91-92 houve uma boa correlação entre a duração observada do sub-período e a estimada pelos graus-dia e pelo modelo de regressão, apresentando esta estimativa o maior coeficiente de determinação. Todos os coeficientes R^2 são significativos ao 1%. Observa-se que a duração do sub-período estimada pelos graus-dia através das diferentes temperaturas base, apresentaram coeficientes R^2 similares. Em termos de desvio com relação ao valor observado, o melhor comportamento foi da estimativa com TB igual 10°C corrigida para o fator hídrico, ou seja condições hídricas ótimas (DEF e EXC igual zero). A temperatura-base de 10°C foi incluída nesse teste porque é comumente citada na literatura para o milho.

Para o ciclo 92-93 as correlações entre a duração observada e as estimadas do sub-período, apresentaram valores médios do coeficiente de determinação, sendo significativos ao 1%.

Nesse ciclo, o maior coeficiente de determinação correspondeu à temperatura-base 10°C corrigida para o fator hídrico, igualmente apresentou o menor desvio entre N estimado para essa temperatura e NUM observado. Nota-se que o menor valor de R^2 e o maior desvio foram entre a duração observada e a estimada pelo modelo de regressão (N). Esta baixa associação pode ser consequência do fato de que no ciclo 92-93, ocorreram valores de déficit hídrico superiores aqueles usados na determinação da equação de regressão, contrariando a recomendação de que a aplicação do modelo de regressão para estimativa seja restrita à faixa de valores das variáveis para os quais a equação foi obtida.

O valor do coeficiente de determinação foi similar entre as estimativas restantes através dos graus-dia.

Quando considerado um ano de validação (ciclo 92-93) o menor desvio entre as estimativas foi promovida pela temperatura-base 10°C com graus-dia corrigidos para o fator hídrico (tabela 14).

A figura 8 mostra o comportamento de cada estimativa em função da temperatura média, para cada época de semeadura. Observa-se que todas as estimativas tenderam a superestimar a duração do sub-período.

O menor valor para o coeficiente de determinação e o maior desvio entre as estimativas, ocorreram para a estimativa através do modelo de regressão, sendo

Tabela 14: Valores observados e estimados a partir do modelo de regressão e do uso de graus-dia da duração do sub-período plantio à floração, ciclo 92-93.

EP	NUM	N	DN1	NTB4	DN2	NTB3	DN3	NTB*	DN4	NTB-	DN5
1	75,0	89,4	14,4	76,9	1,9	74,4	-0,6	79,1	4,1	76,8	1,8
2	69,0	85,3	16,3	73,3	4,3	71,1	2,1	73,7	4,7	71,5	2,5
3	68,0	84,6	16,6	72,2	4,2	70,0	2,0	72,1	4,1	69,9	1,9
4	66,0	84,0	18,0	71,1	5,1	69,0	3,0	70,5	4,5	68,4	2,4
5	66,0	85,0	19,0	70,7	4,7	68,7	2,7	70,0	4,7	67,9	1,9
6	72,0	77,4	5,4	69,7	-2,3	67,7	-4,3	68,5	-3,5	66,4	-5,6
7	63,0	70,6	7,6	69,0	6,0	67,1	4,1	67,5	4,5	65,5	2,5
8	63,0	66,0	3,0	68,3	5,3	66,4	3,4	66,6	3,6	64,6	1,6
9	60,0	64,4	4,4	68,6	8,6	66,8	6,8	67,1	7,1	65,1	5,1
10	65,0	68,0	3,0	68,3	3,3	66,4	1,4	66,6	1,6	64,6	-0,4
11	68,0	68,3	0,3	69,7	1,7	67,7	-0,3	68,5	0,5	66,4	-1,6
12	67,0	67,0	0,0	70,4	3,4	68,4	1,4	69,5	2,5	67,4	0,4
R ²	0,42**		0,59**		0,59**		0,58**		0,58**		
d	9,0		4,23		2,68		3,14		2,24		
X ²	22,97**		4,01ns		1,91ns		3,11ns		1,38ns		
NUM = Duração observada			N = duração est. pelo modelo			NTB4 = duração est. TB = 4,0°C					
DN1 = N - NUM			DN2 = N - NUM			NTB3 = duração est. TB = 3,0°C					
DN3 = NTB4 - NUM			DN3 = NTB3 - NUM			NTB* = duração est. TB = 10,0°C					
DN4 = NTB10 - NUM			DN5 = NTB10C - NUM			NTB- = duração est. TBC = 10,0°C					

** sig 1% ns: não sig.

ciclo 92-93

Figura 8: Duração observada do sub-período plantio à floração e as diferentes estimativas.

plenamente explicados pelo acima assinalado em relação as limitações dos modelos de regressão.

Para este ciclo observou-se a mesma tendência citada em relação aos valores dos coeficientes de determinação para as estimativas realizadas através dos graus-dia.

O fato de que o uso dos graus-dia com diferentes valores de temperatura-base, incluindo-se 10°C, levou a boas estimativas de duração do sub-período SF pode ser explicado pelas figuras 5 e 6, nas quais observa-se que de 0 a 8°C os valores de CV e SD variam muito pouco, tornando difícil definir com acurácia o valor que leva à menor variabilidade de CV e SD, conforme o critério no método de

Arnold. Observa-se nas figuras 5 e 6 que mesmo o valor de 10°C correspondeu a valores de CV e SD pouco diferentes do que aquele obtido para T_b inferiores. Isso pode ter contribuído para que a estimativa da duração em dias a partir dos graus-dia para $T_b = 10^{\circ}\text{C}$ tenha sido adequada, conduzindo aos menores desvios (em valores absolutos) em relação ao número de dias observados, quando se considerou valores corrigidos para o fator hídrico.

Foram realizados testes de X^2 para determinar se as diferenças entre as estimativas da duração do sub-período (SF) e a duração observada (NUM) foram significativas. Não foram encontradas diferenças significativas entre as estimativas da duração do sub-período SF, obtidas através dos graus-dia. No ciclo 92-93 encontraram-se diferenças significativas a 5%, para a estimativa da duração do sub-período através do modelo de regressão.

4.2. Efeito das variáveis físicas do ambiente na produção.

Foram analisadas as variáveis temperatura média do ar (T_{MED}), déficit (DEF) e excedente (EXC) hídrico do solo, para estimar seus efeitos na produção em grãos do híbrido AG 106, na série de semeaduras de 1987 à 1992, através do uso de análise de regressão linear.

As figuras 9, 10 e 11 mostram o comportamento da produção do grão em toneladas por hectare, corrigidos para 13 % de umidade do grão, em função da temperatura média dos sub-períodos semeadura à floração, floração à colheita e bem como do ciclo semeadura à colheita.

Os modelos de regressão linear entre a produção e as variáveis mencionadas para cada um dos sub-períodos são apresentados na tabela 15.

Os coeficientes de determinação para a variável DEF não foram significativos nos sub-períodos considerados, indicando que nas condições analisadas não se encontrou associação entre o déficit e a produção. Entretanto, diferentes autores assinalam que os déficits hídricos afetam diretamente a produção, especialmente nos períodos de pendoamento, embonecamento e polinização, estando eles considerados dentro do sub-período floração a colheita, entanto que Brown et alii (1960) consideram que existe uma influência do déficit hídrico na resposta da temperatura.

Os valores de T_{MED} , DEF e EXC do sub-período semeadura à floração também não apresentaram correlação com a produção.

Para o ciclo semeadura à colheita e sub-período floração à colheita a variável excedente (EXC) apresentou uma baixa correlação com a produção.

Figura 9. Produção em grão (t/ha) em função da temperatura média do sub-período plantio à floração

Figura 10. Produção do grão (t/ha) em função da temperatura média do sub-período floração à colheita.

Figura 11. Produção em grão (t/ha) em função da temperatura média do ciclo plantio à floração.

Figura 15: Modelos de regressão linear para produção de grão a 13% de umidade, em função das variáveis T_{MED} , DEF e EXC para cada sub-período PF, FC e do ciclo PC.

Fase	Equação	Valor "T"	R ²
PF	P= $-10,641 + 0,689 T_{MED}$	3,189**	0,122ns
	P= $5,715 - 9,95 \times 10^{-5} DEF$	-0,789ns	0,008ns
	-----	---	---
FC	P= $-12,911 + 0,838 T_{MED}$	11,433**	0,642**
	P= $6,168 - 0,028 DEF$	-2,664**	0,088ns
	P= $3,853 + 0,011 EXC$	6,437**	0,362**
PC	P= $-21,926 + 1,208 T_{MED}$	-7,823**	0,568**
	P= $6,357 - 0,019 DEF$	-2,488**	0,078ns
	P= $2,957 + 7,12 \times 10^{-3} EXC$	4,599**	0,225*

** sig 1% ; * sig 5% ; ns: não sig.

A temperatura do sub-período floração à colheita apresentou-se altamente correlacionada com a produção, indicando que foi esta a variável que melhor a explicou.

O modelo de regressão múltipla mais representativo da produção é apresentado na tabela 16. Nele foram consideradas as variáveis temperatura média do ar (T_{MED}) e a deficiência hídrica (DEF), para o sub-período floração a colheita, devido a que a matéria seca acumulada no grão de milho é produto principalmente de aquela acumulada após a floração (MUCHOW & SINCLAIR, 1991; DUNCAN et alii, 1972).

Os resultados obtidos coincidem com o assinalado por MUCHOW (1989) e UITDEWILLIGEN (1972), já que observou-se que um acréscimo na temperatura no sub-período de enchimento do grão promove uma maior produção. Isto é contrário ao citado por diversos autores, os quais asinalam a existência de uma correlação negativa entre a temperatura média do sub-período e o rendimento, estando a correlação negativa associada com a variação na duração do período.

Segundo MUCHOW et alii (1990) e BAUDER (1982) entre outros o rendimento do milho é incrementado em condições de baixas temperaturas, devido ao aumento na duração daquele sub-período, o que permite um maior tempo para a interceptação da radiação pela cultura, sendo que a acumulação de biomassa é diretamente proporcional à quantidade de radiação

Tabela 16: Modelo mais representativo da produção (t/ha).

Variável	Coeficiente	Erro padrão	Valor "T"
Intercepto	-15,400	1,960	-7,857
T _{MED}	0,933	0,084	11,087**
DEF	0,016	0,007	2,154*

Análise de variância da regressão.

Fonte	SQ	GL	QM	F	R ²
modelo	366,709	2	183,35	70,93	0,66**
erro	186,108	72	2.584		
total	552,817	74			

** sig. 1% * sig. 5%

Modelo:

$$\text{Prod} = -15,40 + 0,93 T_{\text{MED}} + 0,016 \text{ DEF}$$

interceptada, e o rendimento em grão é por sua vez diretamente proporcional a biomassa.

Sendo que não foi encontrada uma correlação linear da variável déficit hídrico com a produção e no intuito de determinar um possível efeito do fator hídrico provavelmente embutido no efeito da temperatura, foi aplicado o modelo do efeito do déficit de evapotranspiração relativa sobre o rendimento, pelo uso do fator Ky.

Na tabela 17 são apresentados os valores de déficit de evapotranspiração relativa para cada fase, da produção estimada (YaEST) pelo modelo, além dos valores observados (YaOBS) de produção em cada época e da temperatura

média do ar para o sub-período floração à colheita (T_{MEDFC}).

A figura 12 mostra a variação da razão Y_{OBS}/Y_{EST} em função da temperatura.

Figura 12. Relação entre o rendimento observado e o estimado pelo modelo, em função da temperatura média do sub-período floração à colheita.

Verifica-se que quando a temperatura foi menor que 22°C a produção observada representou menos de 50% da produção estimada pelo modelo, sendo que os valores de déficit para essa faixa de temperaturas foram baixos, indicando um maior peso do efeito da temperatura na produção.

Com temperaturas acima de 22°C os valores da relação Y_{OBS}/Y_{EST} ficam mais dispersos, sendo que esta

Tabela 17: Valores do déficit de evapotranspiração relativa, rendimento estimado (YaEST), rendimento observado (YaOBS) e temperatura média (T_{MEDFC})

EP	VEG	FLOR	FCOL	YaEST	YaOBS	TMEDFC	R	EP	VEG	FLOR	FCOL	YaEST	YaOBS	TMEDFC	R
1	0,26	0,24	0,00	6,26	9,57	25,7	1,53	9	0,16	0,23	0,00	6,77	3,22	25,0	0,48
2	0,29	0,00	0,00	9,73	7,82	26,0	0,80	10	0,08	0,00	0,01	10,59	3,05	25,3	0,29
3	0,02	0,00	0,01	10,83	8,24	25,7	0,76	11	0,10	0,04	0,00	9,96	2,83	26,2	0,28
4	0,00	0,00	0,07	10,61	8,35	26,3	0,79	12	0,00	0,00	0,04	10,70	2,20	25,3	0,21
5	0,00	0,00	0,15	10,18	8,72	25,3	0,86	13	0,01	0,00	0,18	9,96	2,19	24,6	0,22
6	0,00	0,16	0,11	7,94	7,89	24,6	0,99	1	0,00	0,01	0,08	10,34	9,18	24,3	0,89
7	0,00	0,28	0,00	6,32	7,02	23,9	1,11	2	0,00	0,15	0,02	8,41	6,01	21,3	0,71
8	0,22	0,00	0,00	10,01	6,44	23,0	0,64	3	0,06	0,08	0,06	9,19	5,58	21,2	0,61
9	0,03	0,00	0,20	9,72	4,85	22,0	0,50	4	0,12	0,01	0,04	10,17	8,59	19,2	0,84
10	0,00	0,24	0,41	5,59	4,47	20,6	0,80	5	0,05	0,00	0,01	10,67	8,79	18,7	0,82
11	0,01	0,40	0,49	3,33	4,15	19,8	1,25	6	0,00	0,00	0,00	11,00	7,86	18,0	0,71
13	0,03	0,41	0,07	3,97	4,47	19,1	1,13	7	0,00	0,00	0,00	11,00	6,29	18,8	0,57
14	0,18	0,03	0,38	7,92	5,06	18,0	0,64	8	0,05	0,00	0,00	10,80	3,22	18,8	0,30
1	0,35	0,00	0,12	8,91	9,69	19,8	1,09	9	0,00	0,10	0,00	9,34	1,87	25,3	0,20
2	0,08	0,15	0,13	7,74	10,77	24,6	1,39	10	0,00	0,00	0,00	11,00	2,09	25,2	0,19
3	0,00	0,22	0,00	7,38	8,53	24,6	1,16	11	0,00	0,00	0,00	11,00	1,41	25,0	0,13
4	0,03	0,19	0,00	7,71	10,33	24,7	1,34	12	0,00	0,04	0,14	9,61	1,50	24,5	0,16
5	0,03	0,00	0,03	10,71	10,30	24,9	0,96	3	0,29	0,00	0,00	9,73	6,48	24,6	0,67
6	0,00	0,00	0,00	11,00	7,90	25,5	0,72	4	0,33	0,00	0,00	9,54	9,67	24,6	1,01
7	0,00	0,07	0,00	9,84	9,05	25,7	0,92	5	0,03	0,00	0,00	10,83	7,43	22,9	0,69
8	0,00	0,00	0,06	10,67	7,83	25,1	0,73	6	0,00	0,03	0,03	10,33	7,75	22,1	0,75
9	0,00	0,15	0,25	7,43	7,03	24,0	0,95	7	0,00	0,00	0,00	10,98	6,62	21,8	0,60
10	0,04	0,01	0,46	8,30	6,14	23,2	0,74	8	0,00	0,23	0,00	7,24	5,62	19,9	0,78
1	0,10	0,14	0,00	8,32	7,41	22,0	0,89	9	0,01	0,00	0,00	10,95	3,42	19,9	0,31
2	0,15	0,00	0,00	10,36	7,71	21,0	0,74	10	0,05	0,00	0,01	10,73	2,75	19,6	0,26
3	0,11	0,00	0,00	10,50	7,20	19,5	0,69	11	0,00	0,08	0,00	9,63	2,26	18,7	0,23
4	0,03	0,00	0,10	10,30	7,08	18,8	0,69	12	0,02	0,00	0,02	10,75	3,45	18,8	0,32
5	0,00	0,00	0,16	10,09	7,06	18,3	0,70	13	0,05	0,00	0,11	10,20	3,41	19,7	0,33
6	0,00	0,00	0,18	9,98	7,26	20,2	0,73	14	0,03	0,00	0,22	9,66	4,13	24,8	0,43
7	0,00	0,40	0,04	4,29	6,79	24,9	1,58	15	0,04	0,03	0,36	8,55	2,45	24,8	0,29
8	0,15	0,05	0,02	9,45	5,24	25,1	0,55								

EP = época VEG = 1-ETA/ETM fase vegetativa YaEST = rendimento est. pelo modelo
R = YaOBS/YaEST FLOR = 1-ETA/ETM fase floração YaOBS = rendimento observado
FCOL = 1-ETA/ETM fase formação de colheita TMEDFC = temperatura média sub-p. floração-colheita

dispersão pode ser explicada pelo efeito do déficit, de outras variáveis não estudadas ou erros do próprio modelo.

Nessa faixa de temperaturas nota-se uma tendência de que a diminuição da produção por efeito do déficit hídrico esteja aproximadamente em torno de 30% da estimada.

Se comparadas as figuras 10 e 12 observa-se que apresentam uma tendência similar em relação a temperatura, indicando o grande efeito da temperatura média do sub-período FC sobre a produção.

4.3. Efeito da época de semeadura

Como foi discutido no item 4.1.1 a duração do sub-período semeadura à floração foi melhor explicada pela temperatura média do período, observando-se que a duração diminui com o incremento da temperatura.

Na tabela 13a observa-se que para o ciclo 91-92 em forma geral os menores valores de duração do sub-período semeadura à floração, para todas as estimativas, foram nas épocas 5 a 9, sendo que estas épocas correspondem a semeaduras realizados nos meses de novembro, dezembro e janeiro, os quais apresentaram os maiores valores de temperatura média.

Para o ciclo 92-93 (tabela 13b e 14) os menores valores na duração do sub-período SF, deslocam-se para as épocas 7 a 10, correspondentes a sementeiras no início de dezembro até finais de janeiro, coincidindo também com as maiores temperaturas.

Estes resultados concordam com aqueles obtidos por OLIVEIRA (1990) e UITDEWILLIGEN (1971), para as condições de MG e RS, respectivamente.

Relacionando os resultados obtidos no item 4.2. com as diferentes épocas de sementeira consideradas no estudo, tem-se que aquelas onde a temperatura média do sub-período floração à colheita foi menor que 22°C apresentaram os menores valores de produção, correspondentes às épocas 9 até 15, (tabela 17) com sementeiras realizados a partir do mês de janeiro.

Caso se considerem conjuntamente o efeito das variáveis estudadas sobre a duração do sub-período sementeira à floração e sobre a produção, pode-se concluir que as épocas 3 e 4, correspondentes aos sementeiras no mês de outubro, seriam as mais recomendadas o que está de acordo com a literatura para sementeiras no estado de São Paulo.

5 - CONCLUSÕES

Os resultados apresentados, permitem as seguintes conclusões:

- a duração do sub-período semeadura à floração do híbrido AG 106, mostra-se correlacionada com a temperatura média do ar e a deficiência hídrica do solo, sendo a temperatura a variável que mais explica essa duração.

- a variável excedente hídrico não apresenta no presente estudo, efeito significativo na duração do sub-período semeadura à floração.

os valores de temperatura-base calculados pelos métodos de menor coeficiente variação, menor variabilidade segundo ARNOLD e intersecção das abscissa não diferem entre si, dentro das duas faixas de valores estudadas, mas diferem de uma faixa para outra.

- o uso do fator hídrico de correção dos graus-dia melhora a estimativa da duração do sub-período semeadura à floração.

a previsão da duração do sub-período semeadura à floração através dos graus-dia, calculados a

partir da temperatura-base 10°C , corrigida para o fator hídrico, é a mais precisa.

- a produção (t/ha), mostrou-se correlacionada com a temperatura média do ar e a deficiência hídrica do solo, que ocorrem no sub-período floração à colheita.

a variável que mais explica a produção no presente estudo é a temperatura média do ar que ocorre no sub-período floração à colheita.

- Quando considerados conjuntamente o efeito das variáveis estudadas sobre a duração do sub-período semeadura à floração e sobre a produção, conclue-se que as épocas 3 e 4 (mês de outubro) seriam as mais recomendadas para semeadura.

LITERATURA CITADA

- ABRAMI, G. Optimum mean temperature for plant growth calculated by a new method of sumation. Ecology, 53: 893-900, 1972.
- ALFONSI, R.R.; CAMARGO, M.B.P. de; CHIAVEGATTO, O.M.D.P.; PEDRO JR., M.J.; ORTOLANI, A.A.; BRUNINI, O. 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: Congr. Bras. Agrometeorologia, IV, 1989. Anais. p. 34-38.
- ALLEN, J.C. A modified sine wave method for calculating degree days. Enviromental Entomology, 5 (3): 388-396, 1976.
- ARNOLD, C.V. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. In: Proceeding American Society for Horticultural Science, Geneva, 74: 430-445. 1959.
- BAUDER, J.W. and RANDALL, G.W. Regression models for predicting corn yield from climatic data and management practices. Soil Sci Soc. Am. Journal 46:158-161, 1982.

BERLATO, M.A & SUTILI, V.R. Ecologia do Milho II.

Determinação das temperaturas bases dos sub-períodos emergência-pendoamento e emergência-espigamento de tres cultivares de milho. In: Reunão Brasileira de Milho e Sorgo, 11, Piracicaba, 1976. Anais. Piracicaba, ESALQ, 1976. p. 532-527.

BROWN, D.M. Soybean Ecology. I Development temperature relationships from controlled enviromental studies.

Agronomy Journal, Madison, 52 (9): 493-6. 1960.

CELASCHI, W & ALMEIDA, F.C. DE. Um modelo para estimar a produtividade do milho no estado de São Paulo. São José dos Campos, INPE. 1981. 5 p. (Relatório INPE, 2118-PRE/324).

CHEN, S.C. & FONSECA, L.B.. Corn yield model for Ribeirão Preto, São Paulo State, Brazil. Agricultural Meteorology, 22:341-349, 1980.

CLAASSEN, M.M. and SHAW, R.H. Water deficit effects on corn. II. Grain components. Agronomy Journal, Madison, 62: 652-655, 1960.

COSTA G., M.M. & LIU, W.T.H. Aplicação do modelo CERES-Maize para previsão da produtividade da cultura de milho na microregião de Ribeirão Preto (SP). In: Congr. Bras. de Meteorologia, VII, 1992. Anais. p. 477-480.

- CUELLAR M., V.E. Estimativa da produtividade da cultura do milho em Minas Gerais, baseada em variáveis agro-climáticas e em tendências tecnológicas. Viçosa, 1990. 68 p. (Mestrado - UFV).
- DAYNAROS, T.B. & KANNENBERG, L.W. Relationships between length of the actual and effective grain filling periods and the grain yield of corn. Can. J. Plant Sci., 56: 237-242. 1976.
- DENMEAD, O.T. & SHAW, R.H. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on development and yield of corn. Agronomy Journal, Madison, 52(5):272-274. 1960.
- DORENBOS, J. & KASSAN, A.H. Yield response to water. Roma, FAO, 1979. 193p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33).
- DOURADO N., D & VAN LIER, J. de Q. Estimativa do armazenamento de água no solo para realização de balanço hídrico. R. bras. Ci. solo, Campinas, 17(1):9-15. 1993.
- DUNCAN, W.G.; SHAVER, D.L. & WILLIAMS, W.A. Insolation and temperature effects on maize growth and yield. Crop Science, 13: 187-191. 1973.
- FANCELLI, A.L. & LIMA A., URGEL de. MILHO. Produção, préprocessamento e transformação agroindustrial. Série Extensão Agroindustrial 5, 1983. 112 p.

- FRÉRE, M & POPOV, G.F. Prónostico agrometeorológico del rendimiento de los cultivo. FAO. 73. Roma, Italia, 1986. 193p.
- GARCIA H., G. Modelo agroclimático para estimativa da produtividade do milho (*Zea mays*.L) na região de Lagunera-Mexico. Viçosa, 1991. 55p. (Mestrado-UFV).
- GILMORE, E. & ROGERS, J.S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. Agronomy Journal, Madison, 50(10): 611-615. 1958.
- GOODWIN, J.B. & SANS, L.M.A. Análise de interação da data de plantio, probabilidade de chuvas e consumo de água pela cultura de milho. Nota preliminar. In: Reunião Brasileira de Milho e Sorgo, 11. Piracicaba, 1976. Anais. Piracicaba, ESALQ, 1976. p. 483-479.
- HALLAUER, A.R. & RUSSEL, W.A. Effects of selected weather factors on grain moisture redution from silking to physiologic maturity in corn. Agronomy Journal, Madison, 53: 225-229. 1961.
- HEINE, R.W. Comparison of methods for estimating potential evapotranspiration in Canterbury. New Zealand Journal of Science, 19: 255-264. 1976.
- HODGES, T.; BOTNER, D.; SAKAMOTO, C.M. & HAUS HANG, J. Using de CERES-Maize model to estimate production for US Corn Belt. Agric. Forest. Met., 40: 293-303. 1987.

- HUNTER, R.B.; TOLLENAAR, M. & BREVER, C.M. Effects of photoperiod and temperature on vegetative and reproductive growth of maize (*Zea mays* L.). Can. J. Plant Sci. 57: 1127-1133. 1977.
- JONES, C.A. & KINIRY, J.R. CERES-Maize: a simulation model of Maize Growth and development. Temple, Texas, Texas A&M University Press, 1986. 193p.
- KISH, A.J. & OGLE, W.L. Improving the heat unit System in predicting maturity date of Snap Beans. Hort. Science, 15 (2): 140-141. 1980
- LIU, W.T.H.; COSTA, M.M. & NOMOTO, R.Y. Comparação de três modelos de estimativa da produtividade de milho na região de Ribeirão Preto SP. In: Congr. Bras. de Meteorologia, VII, 1992. Anais. p. 553-557.
- ; BOTNER, D.M. & SAKAMOTO, C.M. Application of CERES-Maize model to yield prediction of a Brazilian Maize Hybrid. Agric. Forest. Met., 45: 299-312, 1989.
- ; & LIU, B.W.Y. Seleção das melhores épocas de plantio de milho e sorgo na região do alto São Francisco. In: Congr. Bras. de Agrometeorologia, III, 1983. p. 69-76.
- MASSIGNAM, A. Determinação de temperaturas-base, graus-dia e influência de variáveis bioclimáticas na duração das fases fenológicas de cultivares de girassol (*Helianthus annuus* L). Piracicaba, 1987. 87p.

(Mestrado-ESALQ)

MEDEIROS, S.L.P.; WESTPHALEN, S.L; MATZENAUER, R.;

BERGAMASCHI, H. Relações entre evapotranspiração e rendimento de grãos de milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, 26 (1): 1-10, 1991.

MODELLING THE GROWTH AND WATER USE OF PLANTS. VII Brazilian Agrometeorological Congress, U.F.V., Viçosa, 1991 15 p.

MORICOCCHI, L.; RONCATO P., C.R.; VICENTE, J.R. & OLIVEIRA P., L.H. Potencial de produção e produtividade da Agricultura Paulista: o caso do milho. Agricultura em São Paulo, 36 (1): 127-148, 1989.

MUCHOW, R.C. & SINCLAIR, T.R. Water deficit effects on maize yields modeled under current and "green house" climates. Agronomy Journal, Madison, 83(6): 1052-1059. 1991.

MUCHOW, R.C.; SINCLAIR, T.R & BENNETT, J.M. Temperature and solar Radiation effects on potential maize yield across locations. Agronomy Journal, 82: 338-343, 1990.

NOLDIN, J.A. & MUNDSTOCK, C.M. Rendimento de grãos e componentes de rendimento de tres cultivares de milho em duas épocas de semeadura. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, 23:(6) 615-620, 1988.

NUNEZ, J.G.O. Caracterização das fases fenológicas de três cultivares de milho, utilizando o conceito de graus-dia. Viçosa, 1986. 54p. (Mestrado-UFV).