

BRAULIRO GONÇALVES LEAL

CARACTERIZAÇÃO DA RADIAÇÃO, ANÁLISE DE CRESCIMENTO E DO  
DESENVOLVIMENTO DE MILHO (*Zea mays* L.) EM TRÊS DENSIDADES  
DE PLANTIO

Tese Apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa, como Parte das  
Exigências do Curso de Meteorolo-  
gia Agrícola, para Obtenção do  
Título de "Magister Scientiae".

VIÇOSA

MINAS GERAIS - BRASIL

JANEIRO - 1993



Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

L435c  
1993

Leal, Brauliro Gonçalves.

Caracterização da radiação solar e análise do crescimento e do desenvolvimento de milho (*Zea mays* L.) em três densidades de plantio / Brauliro Gonçalves Leal. - Viçosa: UFV, 1993.

55p. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

1. Milho-Plantio-Densidade-Efeito da radiação solar. 2. Milho-Crescimento-Efeito da radiação solar. 3. Microclimatologia agrícola. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 18.ed. 633.15

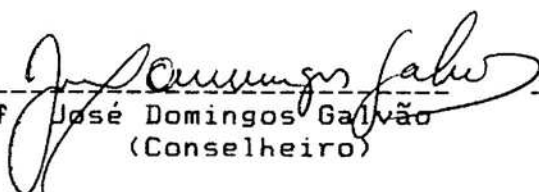
CDD 19.ed. 633.15


BRAULIRO GONÇALVES LEAL

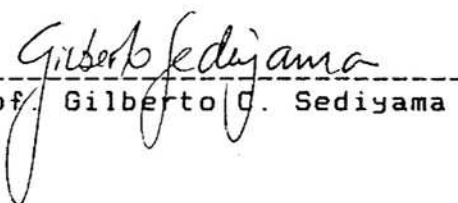
CARACTERIZAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR E ANÁLISE DO CRESCIMENTO E  
DO DESENVOLVIMENTO DE MILHO (*Zea mays* L.) EM TRÊS  
DENSIDADES DE PLANTIO


Tese Apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa, como Parte das  
Exigências do Curso de Meteorolo-  
gia Agrícola, para Obtenção do  
Título de "Magister Scientiae".

APROVADA: 19 de fevereiro de 1992

  
Prof. José Domingos Galvão  
(Conselheiro)

  
Prof. Adil Rainier Alves

  
Prof. Gilberto C. Sedyama

  
Prof. Márcio Mota Ramos

  
Prof. José Maria N. da Costa  
(Orientador)

À Rosana, minha esposa,

À Verônica, minha filha.

## AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de aprimoramento acadêmico.

Ao CNPq que, pela concessão de auxílio financeiro, tornou viável a realização do curso.

Aos pesquisadores e funcionários do CNPMS, especialmente ao Dr. Luis Marcelo Aguiar Sans, pela pronta colaboração, orientação e amizade.

Ao Professor Conselheiro José Domingos Galvão, pela orientação, cooperação e amizade.

Ao Professor Orientador José Maria Nogueira da Costa, pela orientação, amizade e confiança.

Aos Professores Adil Rainier Alves, Dirceu Teixeira Coelho, Gilberto C. Sedyama, Luiz Cláudio Costa, Hélio Alves Vieira, José Eduardo Prates, Manoel Vieira e Rubens Leite Vianello, pelos ensinamentos transmitidos e pela amizade.

Aos meus colegas e amigos, Airton, Cláudia, Jornandes, Zilda, Gabriel, Sérgio, Edson, Marco Aurélio,

Marcos Heil, Klinger, Jorge Washington, Jaqueline, Raimunda, pela boa convivência e pela amizade.

A Maria do Carmo, Edna, José Coelho e demais funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, pela prestatividade.

Aos colegas da Universidade Vale do Rio Doce, UNIVALE, e em particular, a chefe do Departamento de Matemática, Dirce Mary Ramos Leite, pela colaboração e pela amizade.

A minha esposa Rosana de Castro Leal, ao Dr. Leacir Nogueira Bastos, à Sra. Terezinha Leocádia de Castro e ao Sr. José Márcio de Castro, pelo constante estímulo e apoio prestado.

Enfim, a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

## BIOGRAFIA

Brauliro Gonçalves Leal, filho de Armindo Gonçalves Leal e Maria da Conceição Leal, nasceu em Ladainha, MG, em 29 de março de 1960. Bacharelou-se e Licenciou-se em Física pela Universidade Federal de Viçosa, em janeiro de 1988. Em agosto de 1988, iniciou curso de mestrado em Meteorologia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa. Em agosto de 1991, foi contratado pelo Departamento de Matemática da Universidade Vale do Rio Doce, UNIVALE, Governador Valadares, Minas Gerais.

## CONTEÚDO

	Página
EXTRATO .....	viii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	7
3.1. Características da Área .....	7
3.2. Sistema Portátil de Coleta de Dados .....	7
3.3. Dados Meteorológicos .....	9
3.4. Preparo do Solo e Plantio .....	9
3.5. Fenologia .....	11
3.6. Índices de Crescimento .....	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	15
4.1. Crescimento, Desenvolvimento e Produtividade .....	15
4.1.1. Estádios Fenológicos .....	15
4.1.2. Altura da Planta .....	17
4.1.3. Peso Seco .....	20
4.1.4. Índice da Área Foliar .....	23
4.1.5. Taxa de Crescimento Relativo .....	29



4.1.6. Razão de Área Foliar .....	29
4.1.7. Taxa de Crescimento da Cultura .....	31
4.1.8. Taxa de Assimilação Líquida .....	33
4.1.9. Algumas Características Agronômicas da Cultura .....	34
4.2. Caracterização do Regime de Radiação na Cultura .....	35
4.2.1. Albedo .....	35
4.2.2. Radiação Solar Global .....	38
4.2.3. Radiação Fotossinteticamente Ativa ..	40
4.3. Influência de Variáveis Microclimáticas sobre o Crescimento e Desenvolvimento do Cultivar BR 201 .....	42
5. RESUMO E CONCLUSÕES .....	50
BIBLIOGRAFIA .....	53

## EXTRATO

LEAL, Brauliro Gonçalves, M.S., Universidade Federal de Viçosa, Janeiro de 1993. Caracterização da Radiação, Análise de Crescimento e do Desenvolvimento de Milho (Zea mays L.) em Três Densidades de Plantio. Professor Orientador: José Maria Nogueira da Costa. Professores Conselheiros: Luis Marcelo Aguiar Sans e José Domingos Galvão.

O crescimento do cultivar de milho BR 201, nas densidades de plantio de 40.000, 60.000 e 80.000 plantas/ha, foi avaliado por técnicas de análise de crescimento, com base em dados como altura da planta, peso seco, índice de área foliar, taxa de crescimento relativo, razão de área foliar, taxa de crescimento da cultura e taxa de assimilação líquida. O número de dias, após a emergência, exigido pelo cultivar BR 201 para atingir a maturação fisiológica variou de 129 dias na parcela com 40.000 plantas/ha a 141 dias na parcela com 80.000 plantas/ha. As exigências de graus-dias para esse cultivar completar seu ciclo variaram de 1.745 na parcela com 40.000 plantas/ha a 1.895 na parcela com 80.000 plantas/ha. A altura das plantas despendoadas variou com a densidade de

parcelas com 80.000 e 40.000 plantas/ha, respectivamente. Os valores máximos de peso seco total, em ordem decrescente de densidade de plantio, foram 2,27, 2,03 e 1,57 kgm<sup>-2</sup>, e os de índice de área foliar, em ordem decrescente de densidade de plantio, foram 6,7, 5,3 e 4,3. O tempo de ocorrência dos valores máximos de índice de área foliar também variou com a densidade de plantio, isto é, 77, 84 e 83 dias após a emergência, em ordem decrescente de densidade de plantio. As taxas de crescimento relativo, taxas de crescimento da cultura e taxas de assimilação líquida foram, em média, superiores na parcela com maior densidade de plantio.

A caracterização do regime de radiação na cultura foi estabelecido com base nas medições da radiação solar global e radiação fotossinteticamente ativa, medidas acima da cultura e em três níveis do dossel vegetativo. Médias diárias de albedo para cada densidade de plantio foram obtidas e determinada a relação de dependência entre o albedo e o ângulo de elevação solar. Os valores médios diários de albedo, em ordem decrescente de densidade de plantio, foram 0,23, 0,22 e 0,21.

A influência da radiação solar sobre o crescimento do cultivar BR201 foi baseada na variação do coeficiente de extinção da radiação solar global e da radiação fotossinteticamente ativa, em função do índice de área foliar. A maior atenuação da radiação fotossinteticamente ativa ocorreu na parcela com maior densidade de plantio.

## 1. INTRODUÇÃO

O milho é a cultura que ocupa a maior área plantada no Brasil, principalmente por causa das condições climáticas favoráveis ao seu desenvolvimento, à sua multiplicidade de usos na propriedade agrícola e por ser um cultivo tradicional no País (MACHADO et alii, 1986). Dos fatores climáticos, o papel da radiação solar na taxa de crescimento de culturas agrícolas é amplamente reconhecido por muitos pesquisadores. Segundo LANDSBERG et alii (1973), a extensão com que a cultura pode expressar seu potencial genético é determinado por sua interação com o regime de radiação solar, temperatura do ar, pressão de vapor d'água, velocidade do vento e características físico-hídricas do solo. UCHIJIMA (1976) enfatiza a importância de medições dos componentes do balanço de radiação em culturas agrícolas para melhor compreensão das interações entre a cultura e a atmosfera, uma vez que a radiação solar é a fonte primária de energia para o crescimento e desenvolvimento da planta, para a evapotranspiração e para o aquecimento do solo, da água e da planta.

Os valores dos componentes do balanço de radiação observados em regiões temperadas diferem dos obtidos em regiões tropicais. WEBSTER e WILSON (1980) afirmam que a refletividade de culturas nos trópicos tende a ser menor que nas regiões temperadas, porque o maior ângulo de elevação solar nos trópicos resulta numa maior penetração da radiação solar no dossel vegetativo.

No Brasil, estudos microclimáticos têm sido limitados a contribuições isoladas que, enfatizam, separadamente, aspectos físicos do microclima ou características morfológicas e fisiológicas da cultura, sem detalhamento. Para atender a necessidade de avaliar a influência das variáveis microclimáticas nas taxas de crescimento da cultura do milho, durante o seu ciclo, o presente trabalho pretende atingir os seguintes objetivos :

- estabelecer uma análise comparativa do crescimento da cultura do milho em três densidades de plantio;
- caracterizar o regime de radiação acima e dentro do dossel vegetativo da referida cultura, nas três densidades de plantio; e
- avaliar a influência da radiação sobre o crescimento da cultura do milho em três densidades de plantio.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A complexidade dos elementos que afetam o crescimento das culturas agrícolas pode ser simplificada e expressa pelo índice de área foliar, IAF, e pela taxa de assimilação líquida, TAL, (WILLIAMS et alii, 1965). O IAF foi proposto por WATSON (1947) e definido como a relação da área foliar por unidade de área do terreno. A TAL, também desenvolvida por WATSON (1952), é definida como taxa de crescimento por unidade de área foliar e representa uma medida do ganho líquido de matéria seca com relação à área foliar da cultura, podendo ser considerado um indicador da eficiência fotossintética da cultura. Segundo WEBSTER e WILSON (1980), quando o índice de área foliar de uma cultura atinge o valor máximo, a taxa de produção de matéria seca depende da TAL e, conseqüentemente, da disponibilidade de radiação solar. Segundo esses autores, à medida que as folhas envelhecem e caem, a produção de matéria seca tende a diminuir, principalmente sob condições de elevadas temperaturas.

WATSON (1958) também propôs outro parâmetro para se analisar o crescimento de uma cultura : a taxa de crescimento relativo, TCR. Este índice expressa a taxa de crescimento por unidade de peso da planta.

Vários critérios têm sido utilizados em pesquisas microclimáticas de culturas agrícolas para avaliação de estádios de desenvolvimento da cultura, como número de dias após o plantio, número de dias após a emergência, altura da planta e índice de área foliar, dentre outros. HANWAY (1963), ao constatar que essas formas de identificação frequentemente têm pouca ou nenhuma relação com a idade morfológica ou fisiológica da planta, propôs uma escala decimal que identifica as características dos estádios de desenvolvimento da cultura de milho, desde a emergência até a maturação fisiológica do grão. ZADOKS et alii (1974) também desenvolveram um código decimal para a identificação de estádios de crescimento de cereais, entretanto mais genérico que o de HANWAY.

SAUGIER (1976) destaca que o saldo de radiação e a radiação fotossinteticamente ativa têm importância especial em estudos sobre microclimatologia de culturas agrícolas. O saldo de radiação definido pela diferença entre os fluxos totais de radiação ascendente e descendente é a fonte de energia principalmente para a evapotranspiração e o aquecimento do ar, da planta e do solo. A radiação fotossinteticamente ativa (radiação compreendida na faixa de  $0,4$  a  $0,7\mu\text{m}$  ), raramente medida rotineiramente, relaciona-se diretamente com a absorção de  $\text{CO}_2$  pelas folhas.

Em vários trabalhos experimentais, foi medida a distribuição do saldo de radiação acima e dentro do dossel vegetativo da cultura de milho (DENMEAD et alii, 1962; TANNER et alii, 1960; YAO e SHAW, 1964). DENMEAD et alii (1962) observou que, quando a cultura de milho apresenta índice de área foliar máximo, o saldo de radiação no solo corresponde a apenas 25% do total medido acima da cultura, com uma utilização de 75% dentro da cultura; 3/4 dessa energia disponível foi utilizada na metade superior das plantas.

Segundo AUBERTIN e PETER (1961), as taxas de evapotranspiração são governadas principalmente pelo saldo de radiação e pela quantidade de água presentes no solo. Vários trabalhos realizados estabelecem relações entre a evapotranspiração e o saldo de radiação (DENMEAD et alii, 1961; TANNER et alii, 1960; AUBERTIN e PETER, 1961; CAMPBELL et alii, 1981). AUBERTIN e PETER (1961) observaram que para maiores densidades de plantio de milho, em condições de deficiência hídrica, a eficiente captação da radiação solar pode conduzir a um aumento da transpiração e, conseqüentemente, a um severo murchamento.

Segundo DENMEAD et alii (1962), o saldo de radiação é fundamental na descrição do ambiente físico da cultura, uma vez que representa a energia disponível para o seu crescimento e desenvolvimento. Entretanto, medições de saldo de radiação são feitas com menor frequência do que medições de radiação solar global. Tentou-se estabelecer, portanto, uma relação funcional entre o saldo de radiação e a radiação solar global. BROWN e COVEY (1966) obtiveram uma relação entre o saldo de radiação e a radiação solar global



para a cultura de milho. O saldo de radiação acima do dossel variou de 50 a 70% da radiação solar global, dependendo do estágio de desenvolvimento da cultura.

ROSENBERG et alii (1983) afirmam que é possível alterar a captação de radiação pela cultura variando o espaçamento entre as fileiras, a população de plantas e mesmo a arquitetura da própria planta. Por outro lado, esses autores advertem que modificações indiscriminadas poderão causar resultados adversos.

O potencial de utilização da radiação solar pela cultura do milho ainda não está totalmente explorado pelas técnicas atuais de cultivo. Há, ainda, uma grande carência de estudos, como a influência da variação dos componentes do balanço de radiação nas necessidades hídricas da cultura e na sua produtividade, e determinação das magnitudes dos principais componentes do balanço de radiação durante o ciclo da cultura. O presente trabalho atende, em parte, a estas necessidades, e estabelece uma base quantitativa para pesquisas de modelagem sobre as interações entre a cultura do milho e o microclima.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Características da Área

O trabalho foi conduzido no campo experimental do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo - CNPMS/EMBRAPA em Sete Lagoas-MG (latitude 19° 8' S, longitude 44° 15' W e altitude 732 m). O solo do campo experimental é um Latossolo Vermelho-Escuro álico, fase relevo suave ondulado, cerrado, cujas características físico-hídricas foram determinadas por ANDRADE(1987), conforme Quadro 1.

#### 3.2. Sistema Portátil de Coleta de Dados

O sistema automático de coleta de dados consistiu de um equipamento "DataLogger LI-1000, LI-COR, INC, LINCOLN-NE, USA", programado para fazer leituras de radiação solar global e radiação fotossinteticamente ativa, de 5 em 5 segundos, calcular e armazenar a média ao final de 5 minutos, além de armazenar os valores máximos e mínimos ocorridos durante esse período, com os respectivos tempos de ocorrência. Os sensores desse sistema de coleta

QUADRO 1- Características Físico-Hídricas do Latossolo Vermelho-Escuro Álico, Fase Cerrado. Sete Lagoas, MG, 1986

H	P	DP	DG	PT	AG	AF	S	A	AN	MO
AP	0 - 10	2,56	0,87	0,658	5	3	39	53	8	4,20
A3	10 - 26	2,56	1,08	0,579	5	3	24	68	13	3,40
B1	26 - 49	2,53	0,95	0,623	5	4	18	73	12	3,09
B21	49 - 102	2,55	0,89	0,650	5	4	18	73	6	2,41
B22	102 - 142	2,62	0,85	0,673	5	4	16	75	9	2,28

H-horizonte; P-profundidade (cm); DP-densidade de partículas ( $\text{g cm}^{-3}$ ); DG-densidade global ( $\text{g cm}^{-3}$ ); PT-porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ); AG-areia grossa(%); AF-areia fina(%); S-silte(%); A-argila(%); AN-areia(%); MO-matéria orgânica(%).

de dados utilizados foram :

- sensor quântico, LI-191SA, da LI-COR, INC, LINCOLN-NE, USA, resolução de  $3 \mu\text{A}$  por  $1000 \mu\text{mols}^{-1} \text{m}^{-2}$ ;
- sensor quântico, LI-190SA, da LI-COR, INC, LINCOLN-NE, USA, resolução  $8 \mu\text{A}$  por  $1000 \mu\text{mols}^{-1} \text{m}^{-2}$ ; e
- piranômetro LI-200SA, da LI-COR, INC, LINCOLN-NE, USA, resolução  $80 \mu\text{A}$  por  $1000 \text{Wm}^{-2}$ .

No interior do dossel vegetativo de cada uma das três parcelas, foram medidas a radiação solar global (RSG) e a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em uma determinada parcela. As medições foram feitas simultaneamente acima do dossel vegetativo e em um dos três níveis internos da cultura. Os níveis internos da cultura foram estabelecidos como o terço superior, o terço médio e o terço inferior, tomando-se como base a altura média de uma amostra de plantas cujos pendões foram desconsiderados. Também foi medido o albedo de cada parcela.

### 3.3. Dados Meteorológicos

Os dados meteorológicos diários foram obtidos na Estação Meteorológica Principal de Sete Lagoas, situada no campo experimental do CNPMS, distante cerca de 1800 m da estação automática. Foram utilizadas as médias diárias de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação pluvial, correspondentes ao período de agosto de 1990 a janeiro de 1991.

Os graus-dias (GD) foram calculados a partir da emergência das plantas, usando-se a seguinte equação.

$$GD = \frac{T_{x_i} + T_{n_i}}{2} - 10, \quad (1)$$

sendo  $T_{x_i}$  a temperatura máxima diária do ar e

$T_{n_i}$  a temperatura mínima diária do ar.

### 3.4. Preparo do Solo e Plantio

O preparo do solo para plantio consistiu de aração, gradagem e sulcamento. Foram coletadas amostras de solo de três locais da área experimental para análise de fertilidade nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 15, 15 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm, a partir da qual foi determinada a adubação de 27 g da formulação 4-14-8 (NPK), acrescida de 0,4% de Zn, por metro de sulco.

A Figura 1 ilustra a área experimental de 108 m de comprimento, no sentido Norte-Sul, por 30 m de largura, com três parcelas de 36 m de comprimento por 30 m de largura. Em cada parcela foram reservados seis metros laterais para bordadura. No centro da parcela foi delimitada uma área

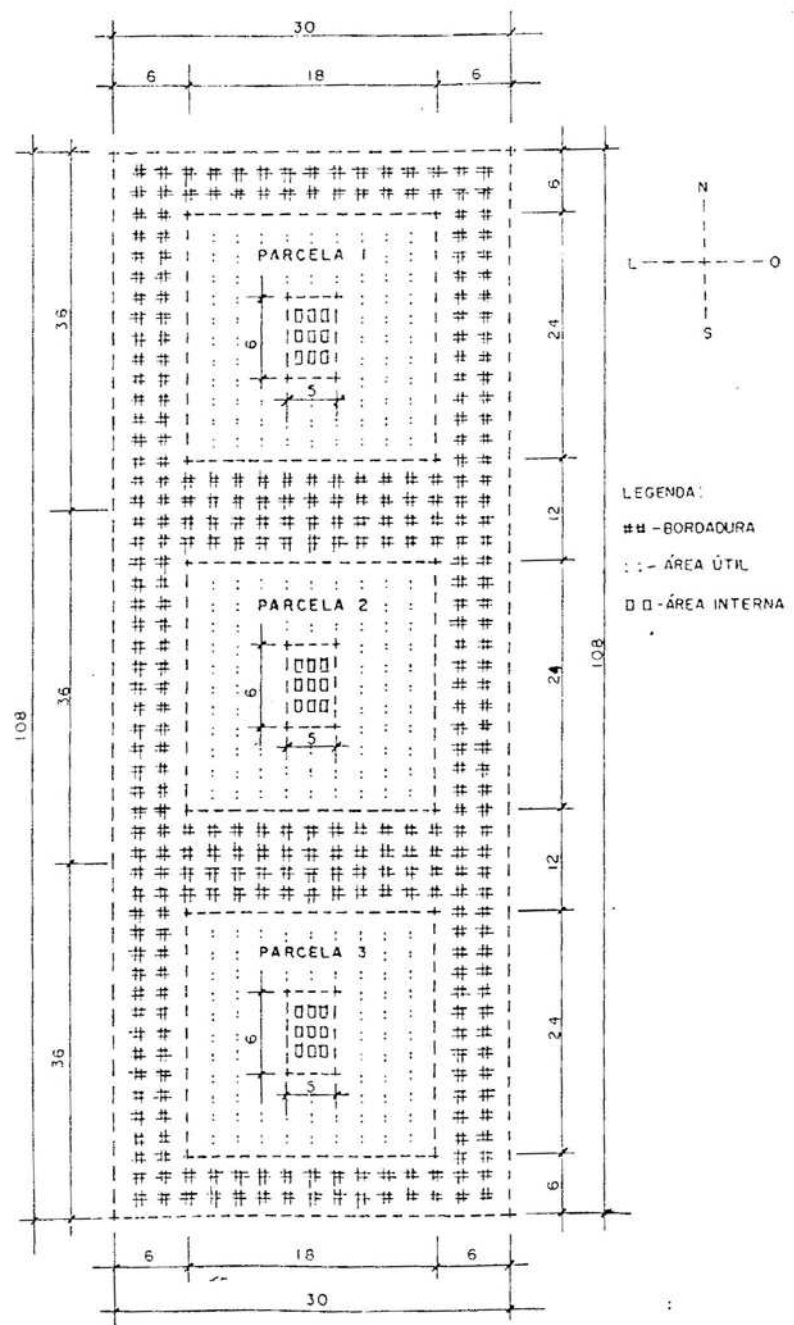


FIGURA 1 - Esquema da Área Experimental.

interna de seis metros de comprimento por cinco metros de largura, na qual foram instalados tensiômetros para avaliar a disponibilidade hídrica do solo. A coleta de plantas para análises fenológicas e as medições de radiação foram feitas na área útil, identificada na Figura 1.

O plantio do híbrido duplo de milho BR 201, com espaçamento de um metro entre as linhas, totalizando 30, foi feito em 24 de agosto de 1990. Após o desbaste, a parcela 1 (P80), situada ao norte da área, apresentou oito plantas por metro linear, correspondendo a uma densidade de plantio de 80.000 plantas/ha. A parcela 2 (P40), situada entre as duas parcelas, apresentou quatro plantas por metro linear, correspondendo a uma densidade de plantio de 40.000 plantas/ha. A parcela 3 (P60), situada ao sul da área experimental, apresentou seis plantas por metro linear, correspondendo a uma densidade de plantio de 60.000 plantas/ha.

Os tratos culturais consistiram de adubação nitrogenada por cobertura, usando uréia, feita aos 30 DAE com 120 kg/ha, 46 DAE com 80 kg/ha e 58 DAE com 80 kg/ha, no controle da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) e na aplicação de herbicida para o controle de ervas daninhas. Utilizou-se um conjunto de irrigação por aspersão para aplicação de água às plantas.

### 3.5. Fenologia

Os estádios fenológicos da cultura, em cada parcela, foram caracterizados conforme a classificação proposta por HANWAY (1963), cuja descrição é apresentada no Quadro 2,

QUADRO 2 - Identificação dos Estádios de Desenvolvimento de uma Cultura de Milho (*Zea mays* L.), Segundo HANWAY(1963)

Estádio	Características verificadas na cultura
0	do plantio à emergência das plantas no solo
1	quatro folhas completamente formadas
2	oito folhas completamente formadas
3	doze folhas completamente formadas
4	dezesesseis folhas completamente formadas.
5	presença dos estigmas, pólen abrigado; início do estágio reprodutivo
6	estádio final da formação dos estigmas
7	estádio de formação de grão; o grão apresenta aspecto pastoso
8	começo do enchimento do grão propriamente dito
9	um pequeno número de grãos apresenta dentes
10	todos os grãos completamente dentados
	maturação fisiológica do grão

foram considerados apenas os estádios fenológicos correspondentes às quantidades de folhas menores ou iguais a dezesseis, embora houvesse mais folhas nas plantas.

O estabelecimento de um determinado estágio fenológico foi considerado quando pelo menos 50% das plantas de uma linha de plantas observadas apresentavam as características desse estágio. As medições de altura e determinações de peso seco das folhas, do caule e do pendão e do índice de área foliar foram feitas com base nas plantas contidas em um metro linear de cada parcela.

### 3.6. Índices de Crescimento

As análises de crescimento foram baseadas no índice de área foliar (IAF), na taxa de crescimento relativo (TCR),

na taxa de assimilação líquida (TAL), na taxa de crescimento da cultura (TCC) e na razão de área foliar (RAF).

A partir do terceiro estágio fenológico e até a maturação fisiológica do grão, foram coletados um metro linear de plantas de cada parcela, o que correspondeu a 8, 6 e 4 plantas por metro linear nas parcelas P80, P60 e P40, respectivamente. De cada folha foi determinado o peso seco total e o peso seco de uma amostra, cuja largura coincidia com a máxima e com comprimento de 3,4 cm, o peso seco e a área das amostras e o peso seco das folhas serviram para estimar a área foliar das plantas de cada parcela. O índice de área foliar foi determinado pela razão entre a área foliar das folhas das amostras das plantas coletadas em cada parcela e a respectiva área de terreno ocupada por essas plantas.

A taxa de crescimento relativo foi determinado pela equação 2, isto é :

$$TCR_i = \frac{\ln PS_i - \ln PS_{i-1}}{DAE_i - DAE_{i-1}}, \quad (2)$$

em que  $PS_i$  é o peso seco por unidade de área e  $DAE_i$  o número de dias após a emergência das plantas. Os subscritos indicam os tempos de amostragem.

A taxa de crescimento da cultura (TCC), que representa a taxa de variação de produção de matéria seca por unidade de área de terreno, foi determinada pela equação

$$TCC_i = \frac{PS_i - PS_{i-1}}{DAE_i - DAE_{i-1}}. \quad (3)$$



A taxa de assimilação líquida foi determinada por :

$$TAL_i = TCC_i \frac{(\ln IAF_i - \ln IAF_{i-1})}{(IAF_i - IAF_{i-1})}, \quad (4)$$

em que  $IAF_i$  é o índice de área foliar num determinado tempo.

A razão de área foliar (RAF), que representa a relação entre a área foliar total e o peso seco total da planta, foi determinada por :

$$RAF_i = \frac{(AF_i - AF_{i-1}) (\ln PS_i - \ln PS_{i-1})}{(PS_i - PS_{i-1}) (\ln AF_i - \ln AF_{i-1})}, \quad (5)$$

em que  $AF_i$  é a área foliar total num determinado tempo.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Crescimento, Desenvolvimento e Produtividade

#### 4.1.1. Estádios Fenológicos

O Quadro 3 apresenta a época de ocorrência de cada estágio fenológico da cultura de milho, conforme a classificação de HANWAY(1963), em função do número de dias após a emergência (DAE) e dos graus-dias acumulados a partir da emergência (GD) para as três densidades de plantio. A duração do ciclo fenológico do cultivar BR 201 variou de 141 dias na parcela P80 a 129 dias na parcela P40. A variação em graus-dias acumulados para que esse cultivar completasse seu ciclo foi de 1.895 na parcela com maior densidade de plantio ( P80 ) e 1.745 na parcela com menor densidade de plantio ( P40 ). Os resultados das análises de regressão linear entre a ordem dos estádios fenológicos e os dias após a emergência, nas três densidades de plantio, estão apresentados no Quadro 4, o qual apresenta ainda os valores do coeficiente de determinação corrigido ( $R^2$ ) (os asteriscos anexados aos

QUADRO 3 - Época de Ocorrência dos Estádios Fenológicos do Cultivar de Milho BR 201 Expresso em Número de Dias após a Emergência e em Graus-Dias Acumulados a Partir da Emergência

Estádio Fenológico	Dias após a Emergência			Graus-Dias Acumulados		
	Densidade de Plantio (plantas/ha)					
	80.000	60.000	40.000	80.000	60.000	40.000
0	0	0	0	0	0	0
1	18	17	17	228	216	216
2	32	32	32	383	383	383
3	47	45	44	602	574	558
4	61	58	56	791	746	719
5	77	73	71	1041	983	950
6	89	84	83	1204	1138	1124
7	103	99	93	1400	1342	1261
8	117	111	107	1599	1514	1460
9	127	120	116	1718	1635	1585
10	141	134	129	1895	1809	1745

QUADRO 4 - Coeficientes "a" e "b" da Regressão Linear entre o Número do Estádio Fenológico (EF) e o Número de Dias após a Emergência (DAE),  $EF = a + b_2 DAE$ , e o Coeficiente de Determinação Corrigido ( $R^2$ )

	Densidade de Plantio (plantas/ha)		
	80.000	60.000	40.000
a	4,00000	4,22728	4,77273
$b_2$	13,9636 <sup>a</sup>	13,2091 <sup>b</sup>	12,6455 <sup>c</sup>
$R^2$	0,998 <sup>**</sup>	0,997 <sup>**</sup>	0,996 <sup>**</sup>

valores de  $R^2$  significam que a regressão foi significativa a 1% ou 5% pelo teste F, para um ou dois asteriscos,

respectivamente), do coeficiente de variação da regressão (CV) e do erro padrão corrigido da estimativa ( $\epsilon$ ). As letras iguais ou diferentes, ao lado dos coeficientes angulares significam, que houve ou não diferenças significativas entre as equações, segundo o Teste de Tukey, a 1%. Os elevados coeficientes de determinação obtidos indicam que o número de dias após a emergência responderam por cerca de 99,6 a 99,8% da variação total observada nos estádios de desenvolvimento fenológico e que, como as equações apresentaram diferenças significativas segundo o Teste de Tukey, a variação observada nos estádios de desenvolvimento fenológicos é devido à densidade de plantio. Valores de  $R^2$  igualmente elevados foram encontrados quando se relacionaram os estádios fenológicos com os graus-dias acumulados, a partir da emergência, Quadro 5, cujas equações não apresentaram diferenças significativas, segundo o Teste de Tukey. O coeficiente b, que expressa a taxa de desenvolvimento da cultura, apresenta valores ligeiramente maiores na parcela com menor densidade de plantio ( P40 ) e valores menores na parcela com maior densidade de plantio ( P80 ), indicando que a taxa de desenvolvimento da cultura foi inversamente proporcional à densidade de plantio. Esses resultados estão ilustrados nas Figuras 2 e 3.

#### 4.1.2. Altura da Planta

As alturas das plantas sem pendão, nas três densidades de plantio, são apresentados no Quadro 6. As

QUADRO 5 - Coeficientes "a" e "b" da Regressão Linear entre o Número do Estádio Fenológico (EF) e Graus-Dias Acumulados a Partir da Emergência (GD),  $EF = a + b \cdot GD$ , e o Coeficiente de Determinação Corrigido ( $R^2$ )

	Densidade de Plantio (plantas/ha)		
	80.000	60.000	40.000
a	28,6364	29,0001	34,5001
b <sup>2</sup>	191,745**a	182,200**a	174,936**a
R <sup>2</sup>	0,997**	0,997**	0,998**

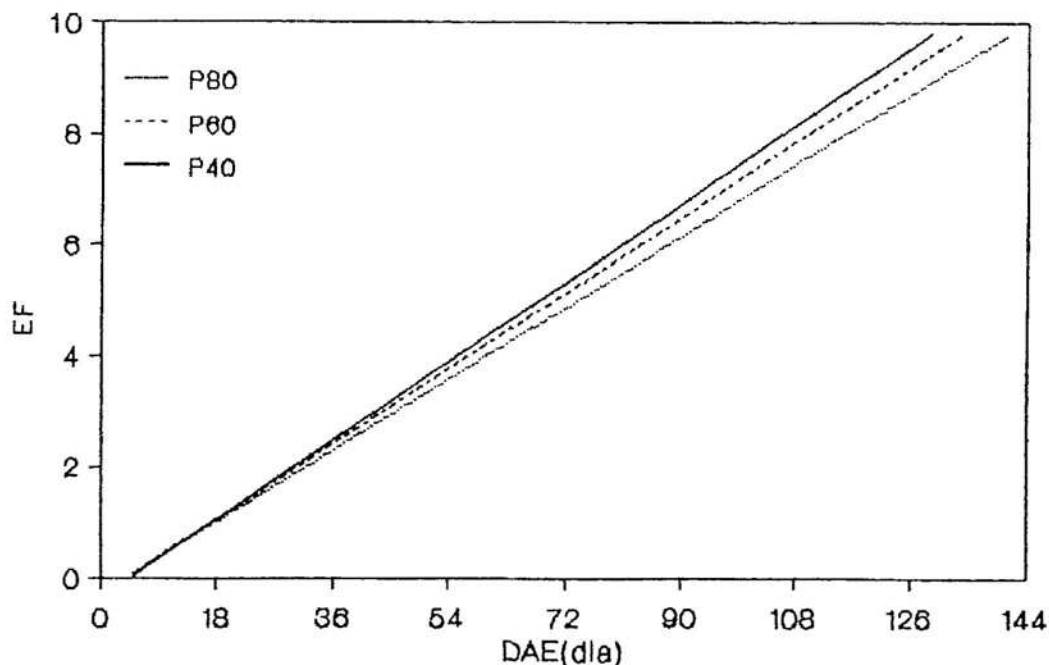


FIGURA 2 - Estádio Fenológico em Função do Número de Dias após a Emergência (DAE) nas Parcelas com 80.000 Plantas/ha (P80), com 60.000 Plantas/ha (P60) e com 40.000 Plantas/ha (P40).

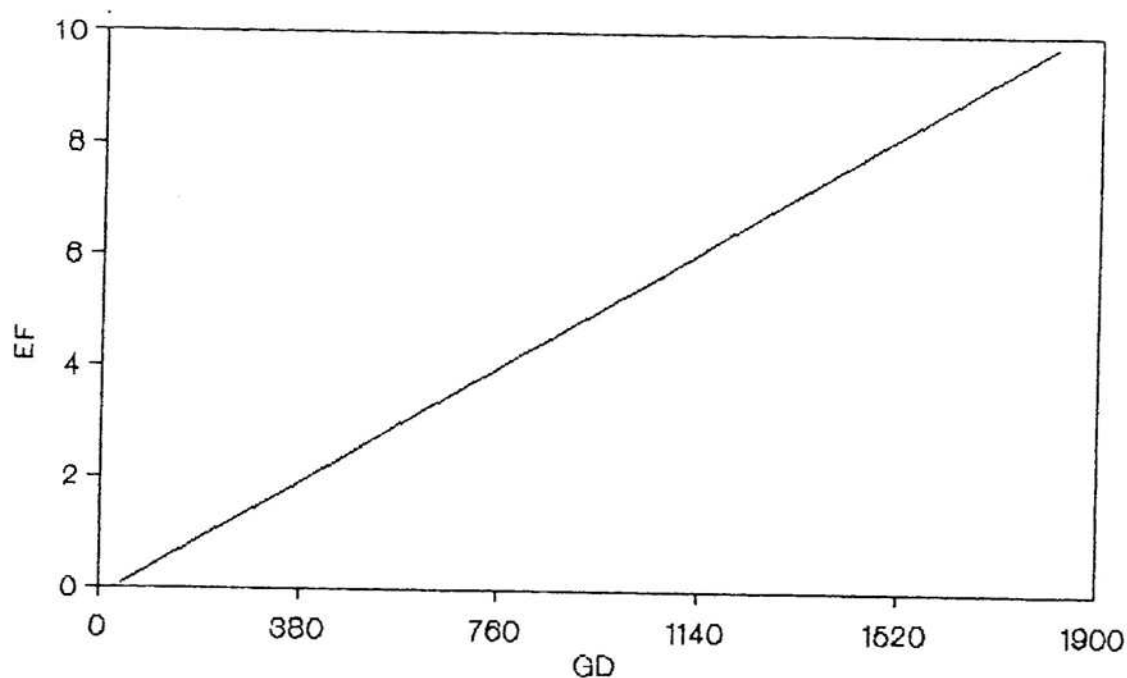


FIGURA 3 - Estádio Fenológico em Função dos Graus-Dias (GD) Acumulados nas Três Densidades de Plantio.

QUADRO 6 - Altura das Plantas Despendoadas em cada Estádio Fenológico, para as Três Densidades de Plantio.

Estádio Fenológico	Altura de Planta (m)		
	Densidade de Plantio (plantas/ha)		
	80.000	60.000	40.000
0	0	0	0
1	-	-	-
2	-	-	-
3	0,85	0,75	0,82
4	1,91	1,81	1,54
5	2,02	2,03	1,96
6	2,01	2,07	2,20
7	2,21	2,05	2,10
8	2,20	2,16	2,01
9	-	-	2,14
10	2,24	2,20	2,07

plantas da parcela com maior densidade de plantio ( P80 ) apresentaram uma tendência a ser mais altas em todas os estádios fenológicos do que as plantas das outras parcelas ( P60 e P40 ).

A variação da altura das plantas despendoadas (AC) em função do número de dias após a emergência foi expressa por uma função logística ajustada, cujos coeficientes são apresentados no Quadro 7; essas equações apresentaram diferenças significativas segundo o Teste de Tukey. A Figura 4 ilustra a variação da altura de plantas despendoadas em três densidades de plantio a partir da emergência.

Um resumo das alturas máximas, observadas e calculadas, das plantas com pendão nas três densidades de plantio é apresentado no Quadro 8.

A altura média do pendão das plantas desde EF=5 até EF=10, o desvio padrão e o coeficiente de variação da média, da parcela P80, é 0,47 m, 0,089 e 19,0%, respectivamente; da parcela P60 é 0,454m, 0,055 e 12,1%, respectivamente; e da parcela P40 é 0,48 m , 0,092 e 19,1%, respectivamente. O tamanho do pendão nas três parcelas foi praticamente independente da densidade de plantio.

#### 4.1.3 Peso Seco

A Figura 6 ilustra a variação do peso seco total por unidade de área de terreno em função do número de dias após a emergência, nas três densidades de plantio. Ajustou-se uma equação logística para expressar a variação de peso seco em função do número de dias após a emergência em cada densidade de plantio. Os coeficientes da equação logística

QUADRO 7 - Coeficientes da Função Logística,  $AC = AC_{max} / (1 + \exp(a - b \cdot DAE))$ , que Expressa a Variação da Altura de Planta Despendoada (AC) com Base no Número de Dias após a Emergência (DAE), nas Três Densidades de Plantio

	Densidade de Plantio (plantas/ha)		
	80.000	60.000	40.000
AC <sub>max</sub>	2,14092	2,10833	2,10172
a	8,53378	8,73302	5,84747
b	0,17279 a	0,18074 b	0,12261 c
R <sup>2</sup>	0,98**	0,99**	0,90**
CV(%)	5,25	6,67	6,23
e	0,088	0,110	0,102

QUADRO 8 - Alturas Máximas Observadas e Calculadas, para Plantas Despendoadas, e a Data de Ocorrência Estimada das Três Parcelas

Densidade de Plantio (plantas/ha)	Altura Máxima Obsevada (m)	Altura Máxima Calculada (m)	Variação Percentual (%)	Dias Após a Emergência (DAE)
80.000	2,24	2,14	4,6	49
60.000	2,20	2,11	4,1	48
40.000	2,07	2,10	1,8	48

ajustada estão apresentados no Quadro 9; as equações não apresentaram diferenças significativas segundo o Teste de Tukey.

Os valores observados de máximo peso seco ( $PS_{max}$ ) nas parcelas P80, P60 e P40 foram 2,27, 2,03 e 1,57 kg m<sup>-2</sup>,



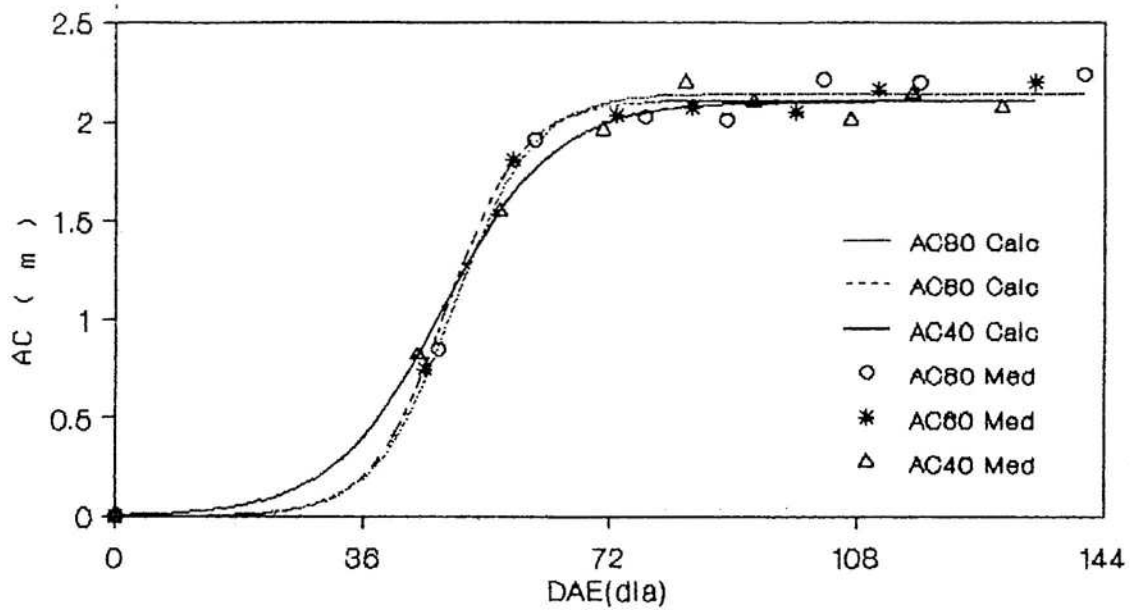


FIGURA 4 - Altura das Plantas Despendoadas (AC) em Função do Número de Dias após a Emergência, nas Parcelas com 80.000 Plantas/ha (AC80), 60.000 Plantas/ha (AC60) e 40.000 Plantas/ha (AC40).

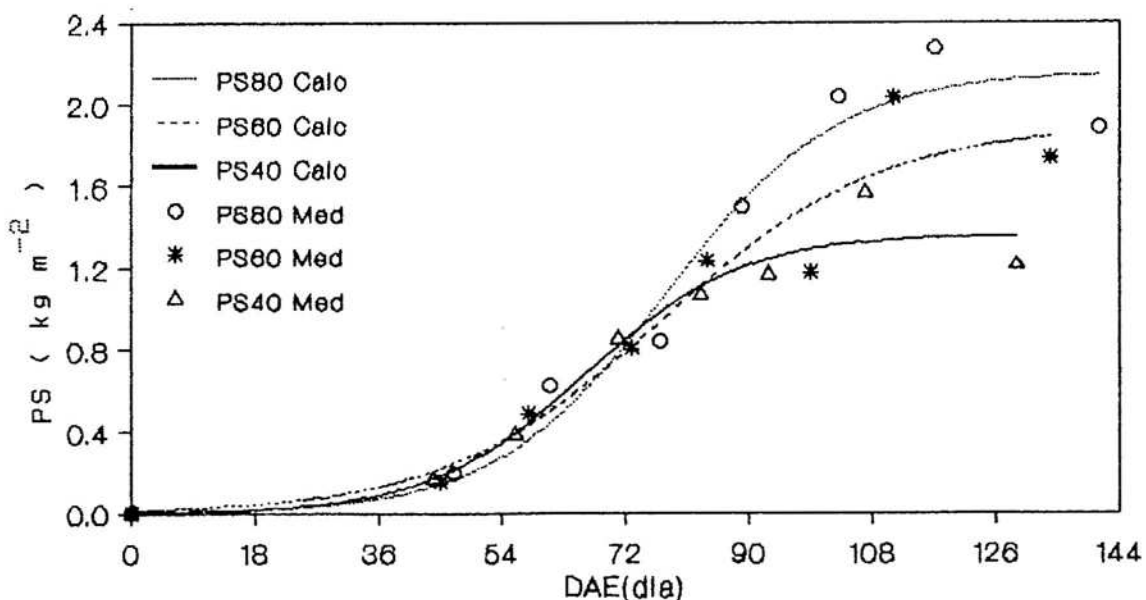


FIGURA 5 - Peso Seco em Função do Número de Dias após a Emergência das Plantas nas Parcelas com 80.000 Plantas/ha (PS80), com 60.000 Plantas/ha (PS60) e com 40.000 Plantas/ha (PS40).

QUADRO 9 - Coeficientes da Função Logística,  $PS = PS_{max} / (1 + \exp(a - b \cdot DAE))$ , que Expressa a Variação do Peso Seco por Unidade de Área de Terreno, com Base no Número de Dias após a Emergência (DAE), nas Densidades de 80.000 Plantas/ha (PS80), 60.000 Plantas/ha (PS60) e 40.000 Plantas/ha (PS40), e o Coeficiente de Determinação Corrigido

	Densidade de Plantio (plantas/ha)		
	80.000	60.000	40.000
$PS_{max}$	2,15737	1,89551	1,36957
a	6,24802	4,86983	5,82761
b	0,08010 a	0,06296 a	0,08789 a
$R^2$	0,963**	0,932**	0,960**
CV(%)	15,42	21,48	14,97
$\epsilon$	0,181	0,205	0,121

respectivamente, e os estimados pelas equações ajustadas foram 2,16, 1,90 e 1,37  $kg\ m^{-2}$ , respectivamente, os valores de peso seco calculados subestimaram os de peso seco observados nas parcelas P80, P60 e P40 em 11, 13 e 20%, respectivamente. Observou-se também que a função logística apresentou tendência de aumento com a densidade de plantio, confirmando resultados encontrados por MACHADO et alii (1982) ao analisarem o crescimento de quatro variedades de milho em três densidades de plantio.

#### 4.1.4. Índice de Área Foliar

Várias tentativas foram feitas para ajustar equações aos dados de índice de área foliar em função do número de dias após a emergência, usando-se funções lineares, quadráticas, polinomiais de terceiro e quarto graus,

logística, Gompertz e polinomiais exponencial de primeira, segunda, terceira e quarta ordem. As equações polinomiais de quarto grau foram as que tiveram melhor ajuste.

Os coeficientes das equações polinomiais para cada densidade de plantio estão apresentados no Quadro 10.

A Figura 5 mostra a variação do índice de área foliar em função do número de dias após a emergência das plantas, nas três densidades de plantio. O maior índice de área foliar foi observado na parcela com maior densidade de plantio (IAF = 6,7), no quinto estágio fenológico, 77 dias após a emergência. A parcela com menor densidade de plantio (P40) apresentou os menores valores de índice de área foliar, como era esperado, e o valor máximo (IAF=4,3) no sexto estágio fenológico, 83 dias após a emergência.

Os valores máximos de IAF calculados a partir da equação polinomial ajustada nas parcelas P80, P60 e P40 foram de 6,0, 4,4 e 4,3, respectivamente. Estes resultados subestimaram os valores observados de IAF em 11,0 e 19,2% para as parcelas P80 e P60, respectivamente. A diferença entre o valor máximo de IAF calculado e o observado não foi significativa.

Ajustou-se uma função polinomial aos dados de índice de área foliar nos terços superior, médio e inferior do dossel vegetativo, nas três densidades de plantio, e obtiveram-se os respectivos coeficientes apresentados nos Quadros 11 a 13. Os resultados da variação de índice de área foliar nos três níveis internos da cultura, em cada densidade de plantio, estão ilustrados nas Figuras 7 a 9. O nível correspondente ao terço médio do dossel vegetativo

QUADRO 10 - Coeficientes da Equação Polinomial de Quarto Grau,  $IAF = a \cdot DAE + b \cdot DAE^2 + c \cdot DAE^3 + d \cdot DAE^4$ , que Expressa a Variação do Índice de Área Foliar com o Número de Dias após a Emergência

	Densidade de Plantio (plantas/ha)		
	80.000	60.000	40.000
a	-0,3146380	0,4598563X10 <sup>-6</sup>	-2,714617X10 <sup>-8</sup>
b	0,01497056	0,3408351X10 <sup>-2</sup>	0,002883102
c	-1,739241X10 <sup>-4</sup>	-0,4687972X10 <sup>-4</sup>	-3,842231X10 <sup>-5</sup>
d <sup>2</sup>	5,930146X10 <sup>-7</sup>	0,1583184X10 <sup>-6</sup>	1,245721X10 <sup>-7</sup>
R <sup>2</sup>	0,95	0,72	0,89
CV(%)	26,4	49,47	31,2
ε	0,773	0,759	0,759

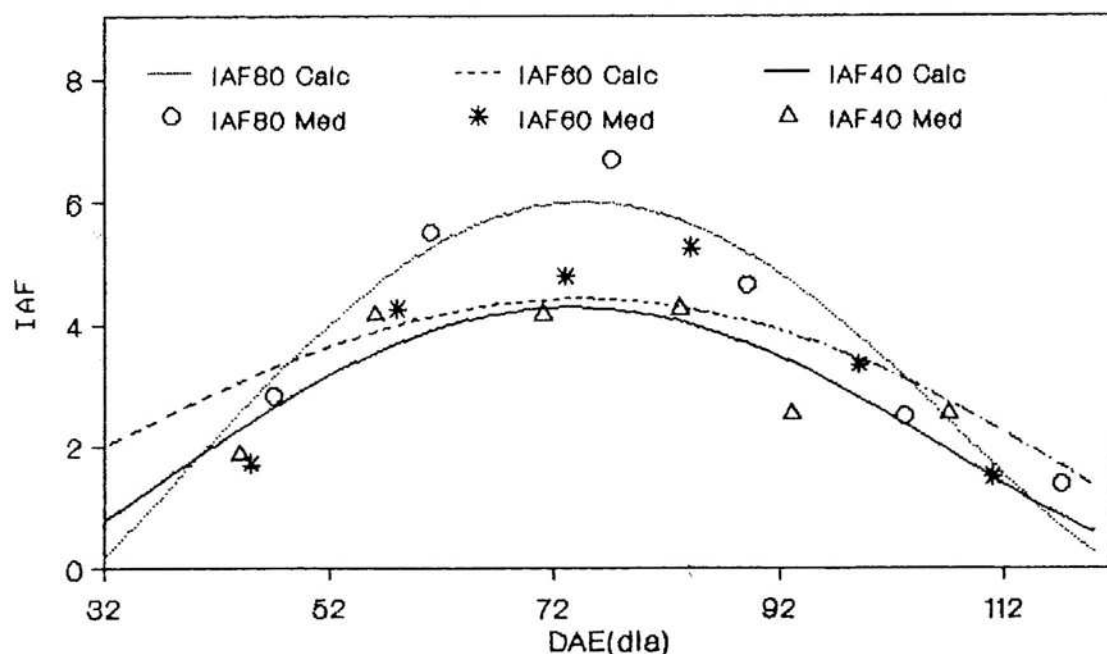


FIGURA 6 - Índice de Área Foliar em Função do Número de Dias após a Emergência nas Parcelas com 80.000 Plantas/ha (IAF80), 60.000 Plantas/ha (IAF60) e 40.000 Plantas/ha (IAF40).

QUADRO 11 - Coeficientes da Função  $IAF = a + b \cdot DAE + c \cdot DAE^2 + d \cdot DAE^3$  que Expressa a Variação do Índice de Área Foliar na Parcela com 80.000 plantas/ha nos Terços Superior, Médio e Inferior com base no Número de Dias Após a Emergência

	Terço Inferior	Terço Médio	Terço Superior
a	0,00364614	0,00440788	0,00292432
b	0,0842577	0,308235	0,0520186
c	-0,00137242	-0,00476752	-0,000379266
d	0,00000552053	0,0000183394	-
R <sup>2</sup>	0,89**	0,99**	0,89**
CV(%)	75,8	19,6	35,7
e	0,154	0,139	0,302

QUADRO 12 - Coeficientes da Função  $IAF = a + b \cdot DAE + c \cdot DAE^2 + d \cdot DAE^3$  que Expressa a Variação do Índice de Área Foliar na Parcela com 60.000 Plantas/ha nos Terços Superior, Médio e Inferior com Base no Número de Dias após a Emergência

	Terço Inferior	Terço Médio	Terço Superior
a	-7,066422X10 <sup>-5</sup>	-0,00845909	-0,00870204
b	-0,01590364	0,170705	0,0536502
c	0,001513139	-0,00243627	-0,000410883
d	-2,16778X10 <sup>-5</sup>	8,60875X10 <sup>-6</sup>	-
e <sub>2</sub>	8,421986X10 <sup>-8</sup>	-	-
R <sup>2</sup>	0,83	0,93*	0,60
CV(%)	92,5	37,1	67,4
e	0,236	0,382	0,557

foi o que apresentou maior índice de área foliar nas três densidades de plantio, representando cerca de 62% do total na parcela P80 e 57% nas parcelas P60 e P40. Pode-se ainda observar nas Figuras 7 a 9 a influência da densidade de

QUADRO 13 - Coeficientes da Função  $IAF=a+b \cdot DAE+c \cdot DAE^2+d \cdot DAE^3$  que Expressa a Variação do Índice de Área Foliar na Parcela com 40.000 Plantas/ha nos Terços Superior, Médio e Inferior com Base no Número de Dias após a Emergência

	Terço Inferior	Terço Médio	Terço Superior
a	0,0160160	-0,000374138	-0,00907248
b	0,0228860	0,131649	0,0410014
c	-0,000188617	-0,00181646	-0,000322870
d	-	0,00000613257	-
R <sup>2</sup>	0,77*	0,90*	0,72*
CV(%)	69,1	39,2	57,2
ε	0,208	0,386	0,362

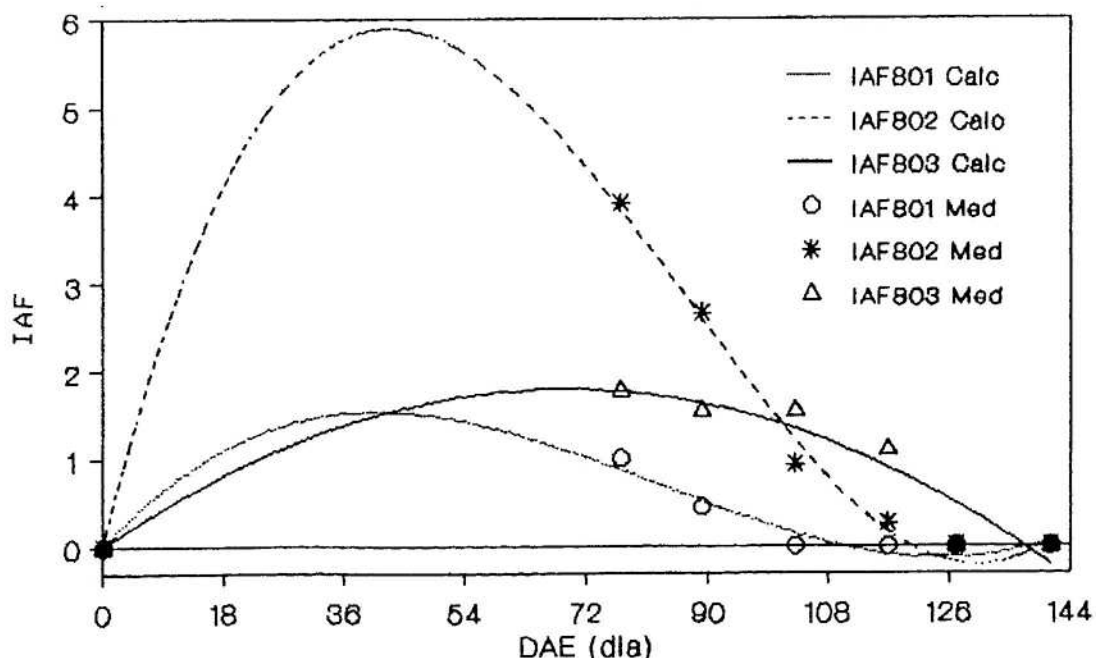


FIGURA 7 - Índice de Área Foliar nos Terços Inferior (IAF801), Médio (IAF802) e Superior (IAF803) da Parcela com 80.000 Plantas/ha em Função do Número de Dias após a Emergência das Plantas.

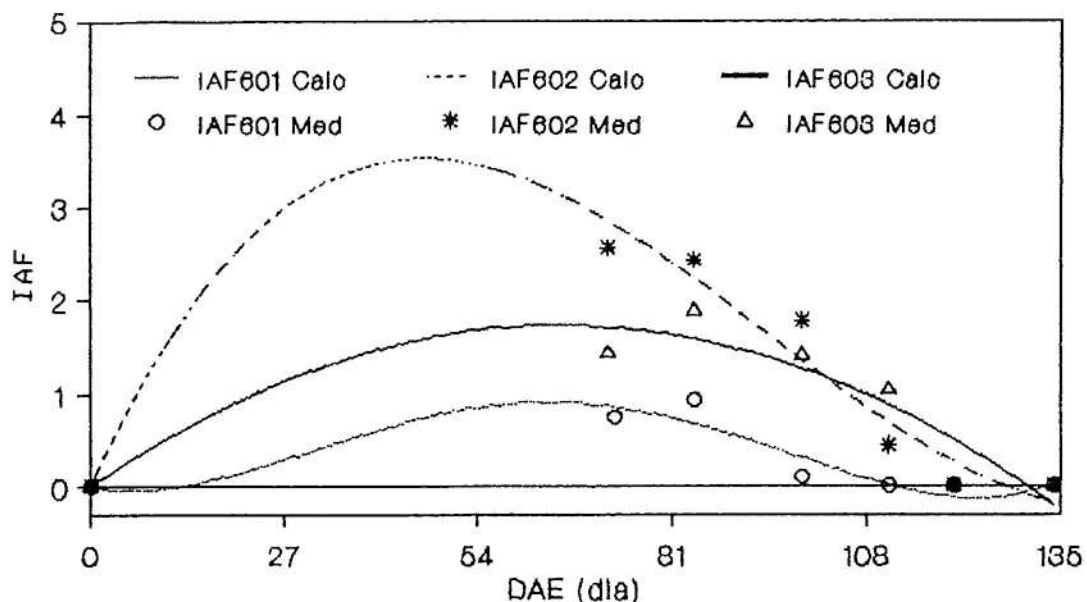


FIGURA 8 - Índice de Área Foliar nos Terços Inferior (IAF601), Médio (IAF602) e Superior (IAF603) da Parcela com 60.000 Plantas/ha em Função do Número de Dias após a Emergência das Plantas.

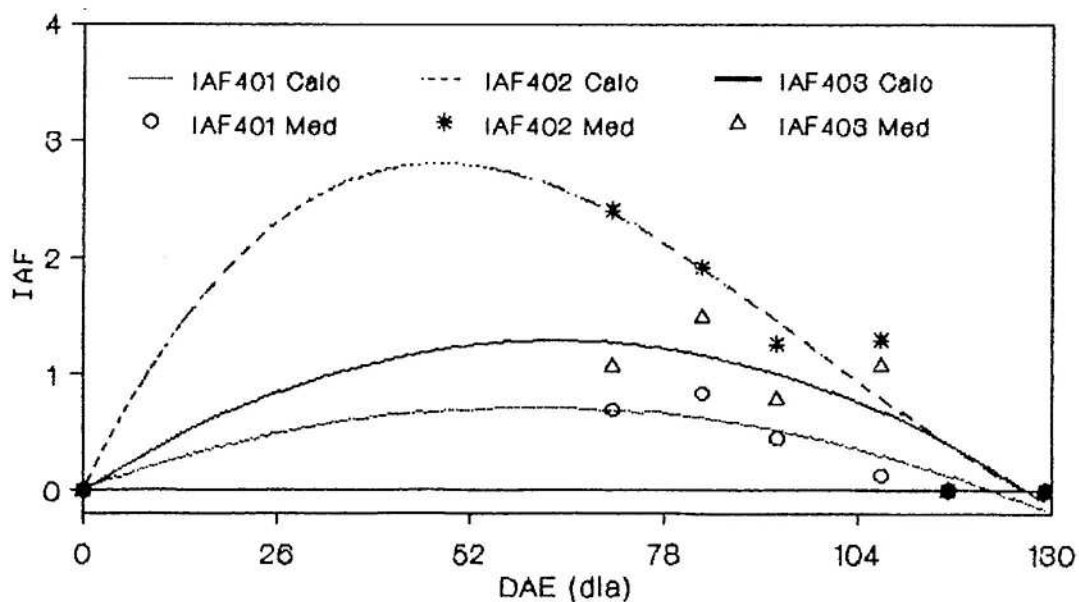


FIGURA 9 - Índice de Área Foliar nos Terços Inferior (IAF401), Médio (IAF402) e Superior (IAF403) da Parcela com 40.000 Plantas/ha em Função do Número de Dias após a Emergência das Plantas.

plântio no IAF. Tomando-se como referência o terço médio do dossel vegetativo, verificou-se que o IAF neste nível na parcela P80 foi 45% e 77% superior aos valores encontrados no mesmo nível nas parcelas P60 e P40, respectivamente.

#### 4.1.5. Taxa de Crescimento Relativo

A função ajustada que melhor descreveu a variação da taxa de crescimento relativo com os dias após a emergência das plantas, nas três densidades de plântio, foi a polinomial cúbica, tendo apresentado coeficiente de determinação corrigido de 0,99, Figura 10. Como se observa em tal Figura, a taxa de crescimento relativo decresce continuamente desde o início da cultura até a maturação fisiológica do grão. Pode-se observar, na Figura 10, a variação da taxa de crescimento relativo no período compreendido entre 40 e 120 dias após a emergência das plantas, para as três densidades de plântio.

Comportamento semelhante desse índice em quatro variedades de milho também foi observado MACHADO et alii (1982). As taxas de crescimento relativo foram ligeiramente superiores na parcela P80, mostrando a influência da densidade de plântio na taxa de crescimento relativo do milho.

#### 4.1.6. Razão de Área Foliar

A função polinomial que resultou no melhor ajuste aos valores da razão de área foliar foi uma equação cúbica com coeficiente de determinação corrigido de 0,89, cujas



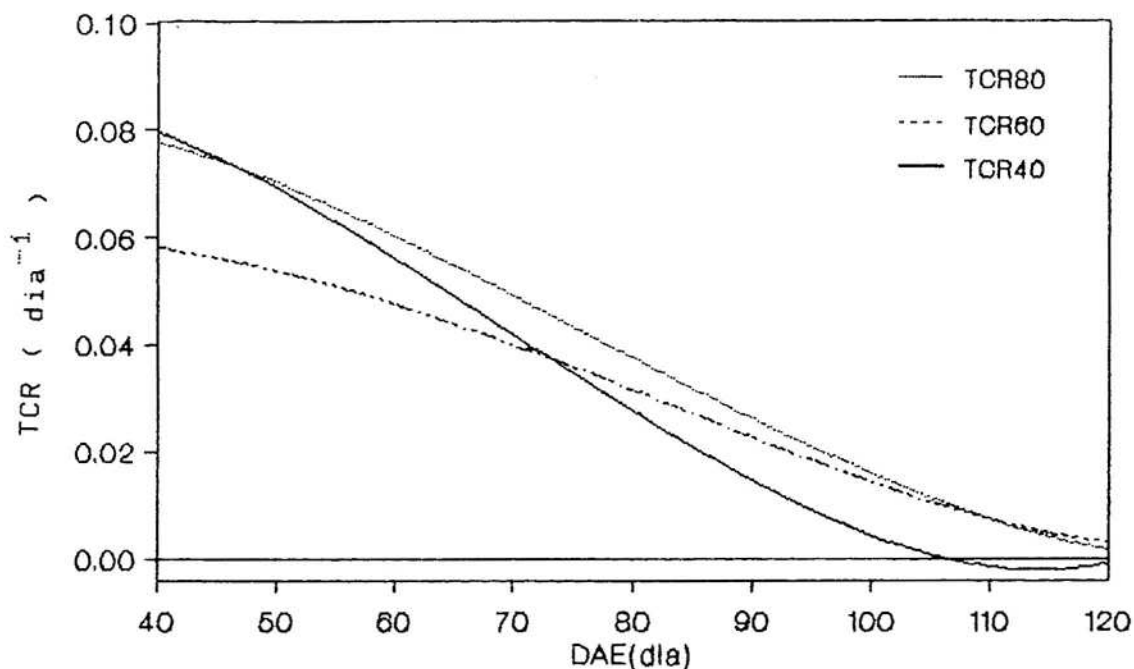


FIGURA 10 - Variação da Taxa de Crescimento Relativo com o Número de Dias após a Emergência nas Parcelas com 80.000 Plantas/ha (TCR80), 60.000 Plantas/ha (TCR60) e 40.000 Plantas/ha (TCR40).

curvas referentes às três densidades de plantio estão ilustradas na Figura 11.

A razão de área foliar que indica a capacidade fotossintética da planta, apresenta uma tendência de aumento desde o início do ciclo até atingir o máximo em torno de 21 a 47 dias após a emergência das plantas, decrescendo continuamente até a maturação fisiológica do grão.

Os valores máximos da razão de área foliar nas parcelas P80, P60 e P40 ocorreram 47, 33 e 21 dias após a emergência das plantas, respectivamente. Os máximos valores de razão de área foliar variaram de  $13,6 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$  na parcela P40 a  $15,6 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$  na parcela P60.

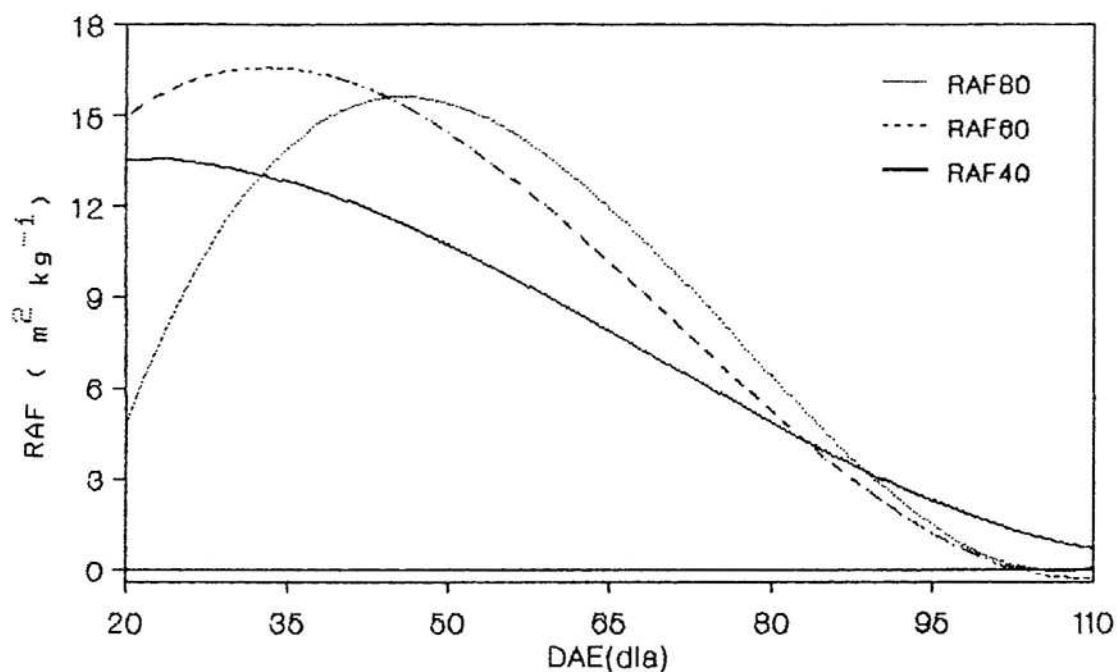


FIGURA 11 - Variação da Razão de Área Foliar com o Número de Dias após a Emergência nas Parcelas com 80.000 Plantas/ha (RAF80), 60.000 Plantas/ha (RAF60) e 40.000 Plantas/ha (RAF40).

Segundo MACHADO et alii (1982), os valores elevados da razão de área foliar, no início do ciclo, indicam que a maior parte do material fotossintetizado foi convertido em folhas.

A partir da ocorrência do máximo de razão de área foliar, percentuais cada vez menores do peso seco total serão expressos em área foliar em razão do maior acúmulo de matéria seca no colmo e na espiga.

#### 4.1.7. Taxa de Crescimento da Cultura

As curvas referentes às funções polinomiais de quarto grau, ajustadas aos valores de taxa de crescimento da

cultura, com coeficiente de determinação corrigido de 0,92, estão ilustrados na Figura 12. Pode-se observar que as taxas de crescimento da cultura, nas três densidades de plantio, crescem até atingir um máximo. Na parcela P40 o máximo é atingido cerca de 68 dias após a emergência, com o valor 25,4 g de matéria seca  $m^{-2}dia^{-1}$ ; nas outras duas densidades o máximo é atingido cerca de 78 dias após a emergência nas parcelas P60 e P80, com os valores 27,0 e 35,8 g (de matéria seca)  $m^{-2}dia^{-1}$  para as parcelas P60 e P80, respectivamente, decrescendo continuamente a partir daí até a maturação fisiológica do grão. Esses resultados de taxa de crescimento da cultura são compatíveis com os

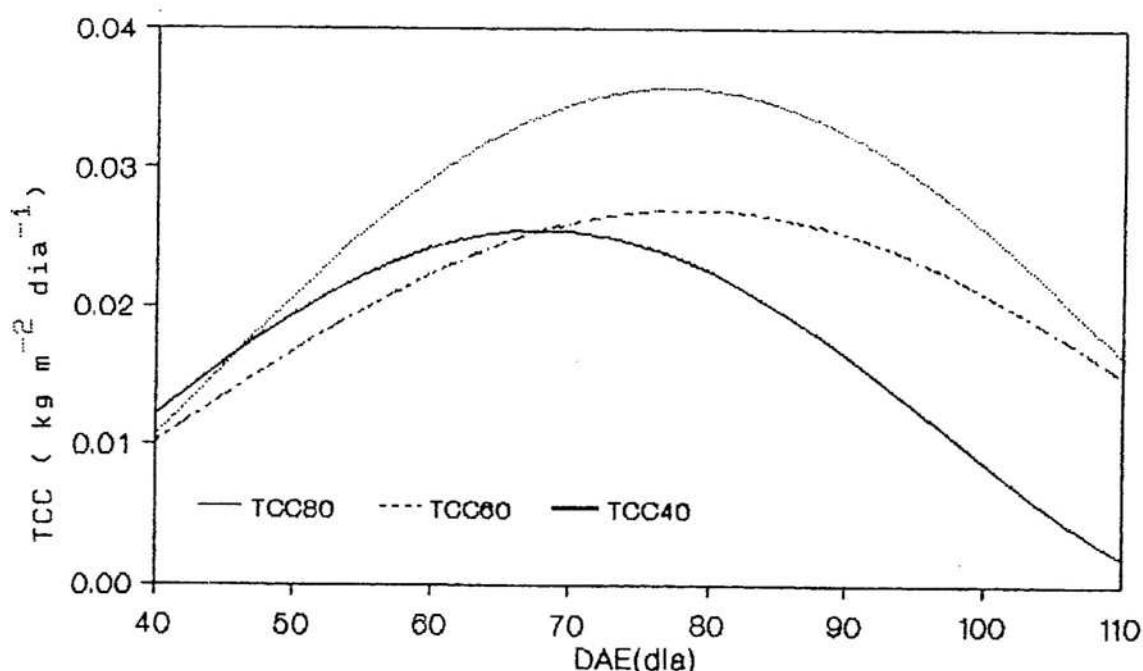


FIGURA 12 - Variação da Taxa de Crescimento da Cultura com o Número de Dias após a Emergência nas Parcelas com 80.000 Plantas/ha (TCC80), 60.000 Plantas/ha (TCC60) e 40.000 Plantas/ha (TCC40).

valores entre 26 e 53  $\text{g m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ , encontrados por FISHER e PALMER (1980) para a cultura do milho em várias condições ambientais.

#### 4.1.8. Taxa de Assimilação Líquida

A função que melhor descreve a variação da taxa de assimilação líquida com os dias após a emergência das plantas foi uma polinomial de quarto grau, com um coeficiente de determinação corrigido de 0,93, cujas curvas para cada densidade de plantio estão ilustradas na Figura 13.

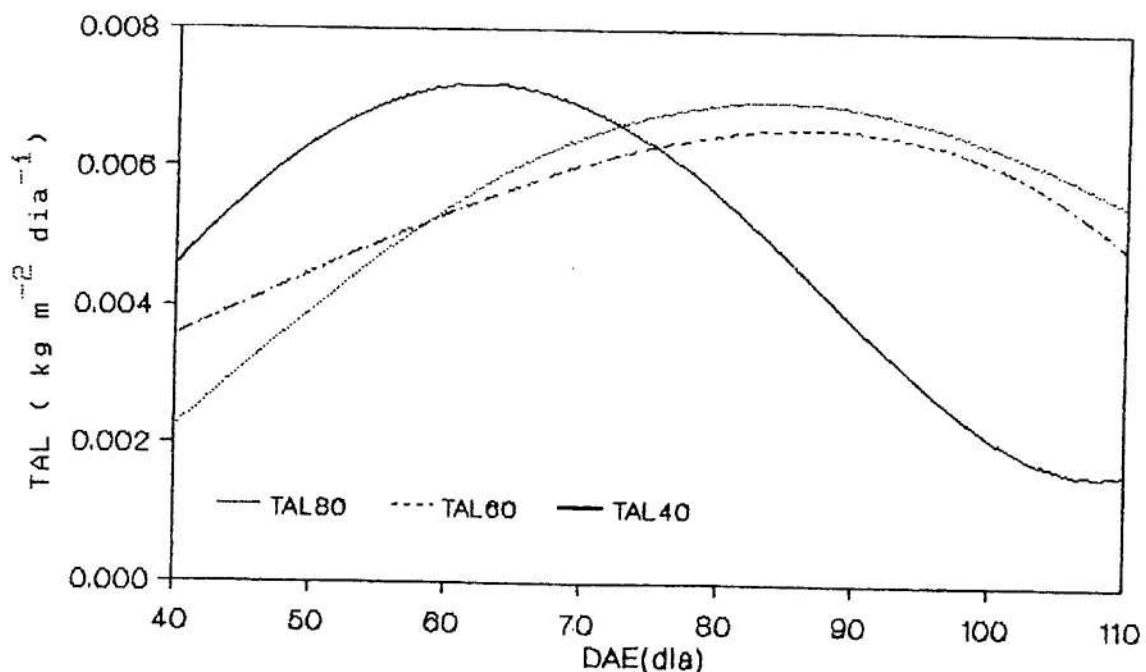


FIGURA 13 - Variação da Taxa de Assimilação Líquida com o Número de Dias após a Emergência nas Parcelas de 80.000 Plantas/ha (TAL80), 60.000 Plantas/ha (TAL60) e 40.000 Plantas/ha (TAL40).

A taxa de assimilação líquida, que é basicamente o TCC ajustado para o índice de área foliar, apresenta valores máximos semelhantes nas três densidades de plantio com o valor de  $7,0 \text{ g m}^{-2}(\text{folha})\cdot\text{dia}^{-1}$ , embora a época de ocorrência desse máximo tenha variado. Na parcela com menor densidade de plantio ( P40 ), o máximo ocorreu em torno de 60 dias após a emergência das plantas, enquanto as parcelas P60 e P80 apresentaram comportamento semelhante, com a máxima taxa de assimilação líquida ocorrendo cerca de 85 dias após a emergência.

#### 4.1.9. Algumas Características Agronômicas da Cultura

A colheita ocorreu aos 143 DAE para as parcelas P80 e P40 e aos 144 DAE para a parcela P60. Um resumo dos resultados obtidos referentes a características avaliadas nas três parcelas encontra-se no Quadro 14. Pode-se observar que o percentual de plantas eretas diminuiu com o aumento da densidade de plantio. A localização da primeira espiga foi semelhante nas parcelas, ou seja em torno de um metro acima do solo, estando inserida na bainha da décima quinta folha. O número de espigas por planta, denominado índice de espiga, variou de 0,97 a 1,07 nas parcelas P80 e P40, respectivamente. O percentual de plantas sem espiga variou de 5,1% nas parcelas P80 e P60 a 1,7% na parcela P40. O número de folhas por planta não dependeu da densidade de plantio, tendo apresentado 22 folhas por planta.

QUADRO 14 - Resumo Geral da Colheita nas Três Parcelas

Densidade de Plantio (planta/ha)	Plantas			Altura da Primeira Espiga (m)	Produtividade (kg/ha)
	Caídas (%)	Inclinadas (%)	Eretas (%)		
80.000	11,5	13,6	74,9	1,05	7.752
60.000	5,6	13,5	80,9	1,02	7.576
40.000	4,2	1,7	94,2	1,00	6.703

A produção de grãos por unidade de área, ajustada a grão com umidade de 14%, estimada a partir da colheita da área interna das parcelas P80, P60 e P40, foi 7.752, 7.576 e 6.715 kg/ha, respectivamente. A diferença de produtividade apresentada pelas parcelas expressa a influência da densidade de plantio na produtividade do cultivar BR 201.

#### 4.2. Caracterização do Regime de Radiação na Cultura

##### 4.2.1. Albedo

A Figura 14 ilustra a variação horária dos valores médios de albedo durante o período de observação nas três parcelas, desconsiderando os efeitos devido a nebulosidade. A parcela com maior densidade de plantio (P80) apresentou o maior valor médio diário de albedo (0,23), e as parcelas P60 e P40 apresentaram valores médios diários de 0,22 e 0,21, respectivamente. Esses resultados são comparáveis com os valores de albedo para a cultura do milho, apresentados por

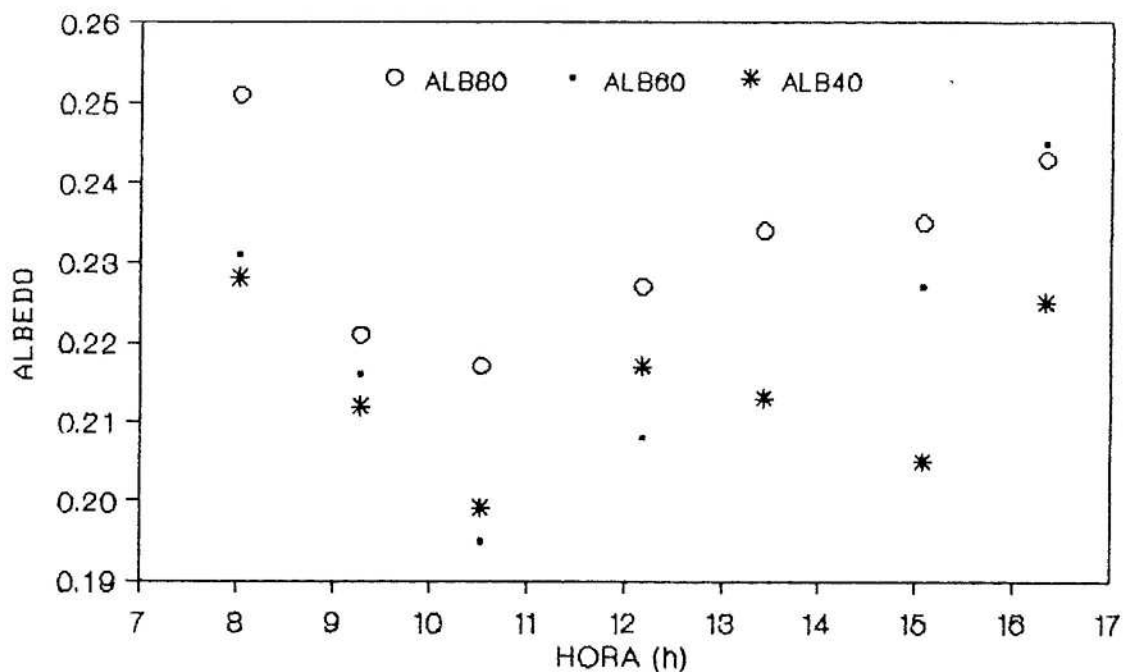


FIGURA 14 - Albedo Médio Horário das Parcelas com 80.000 Plantas/ha(ALB80), 60.000 Plantas/ha(ALB60) e 40.000 Plantas/ha(ALB40).

MONTEITH(1973), DAVIES e BUTTIMOR(1969) e OGUNTOYINBO(1970).

A dependência do albedo com o ângulo de elevação solar, referente às três parcelas, está ilustrada nas Figuras 15 a 17. Pode-se observar, nas três parcelas, que o albedo é inversamente proporcional ao ângulo de elevação solar. Segundo COULSON e REYNOLDS (1971) os elevados valores de albedo observados em pequenos ângulos de elevação solar são devidos à maneira diferente com que os componentes da radiação solar direta e difusa são refletidos.

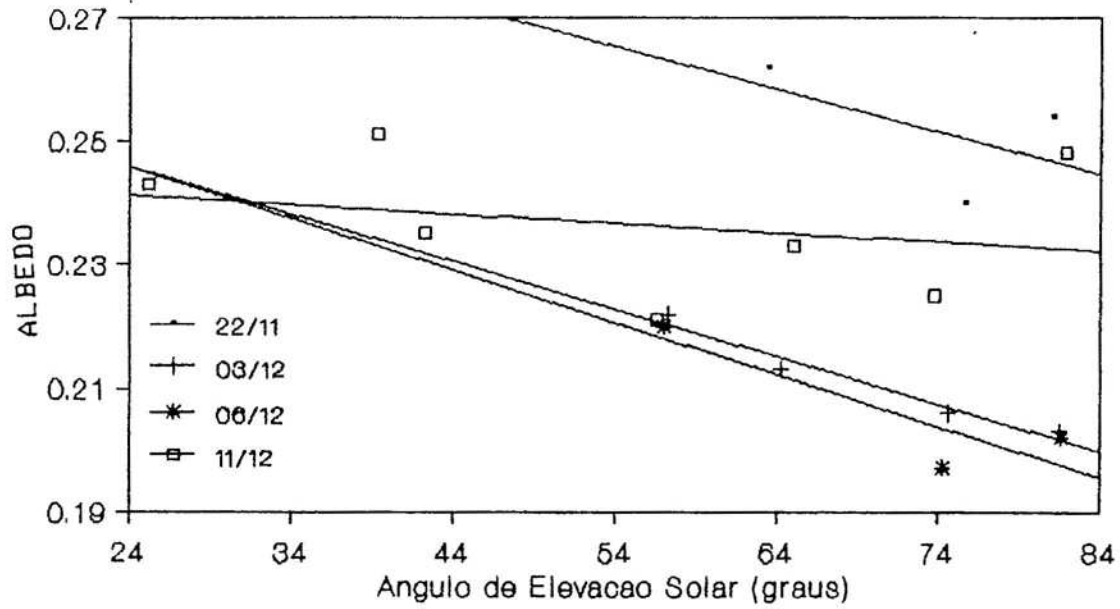


FIGURA 15 - Albedo da Parcela com 80.000 Plantas/ha em Função do Ângulo de Elevação Solar.

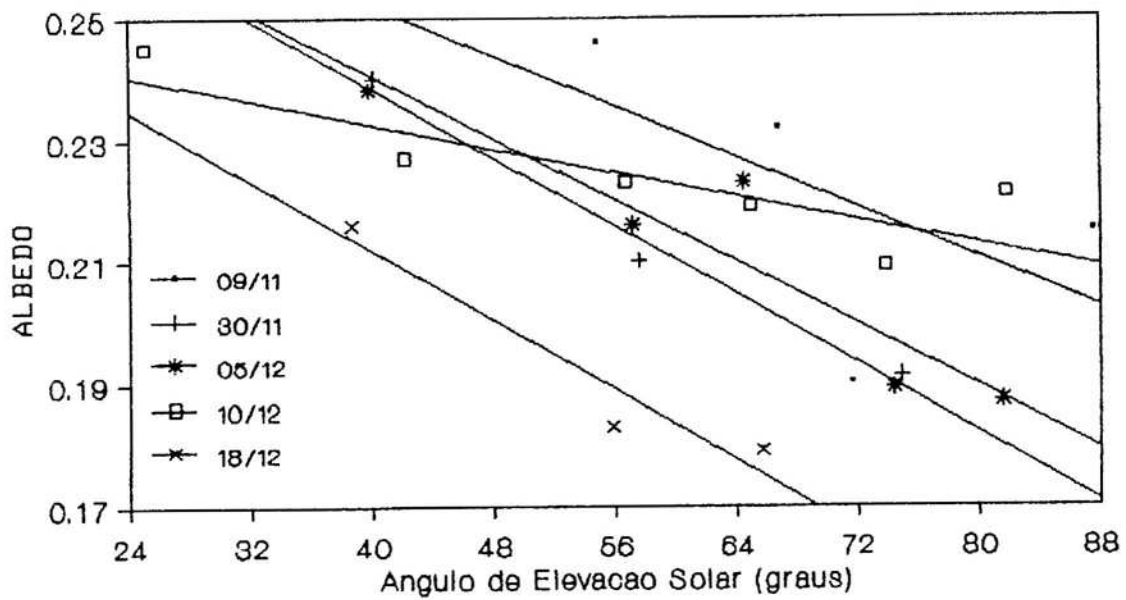


FIGURA 16 - Albedo da Parcela com 60.000 Plantas/ha em Função do Ângulo de Elevação Solar.



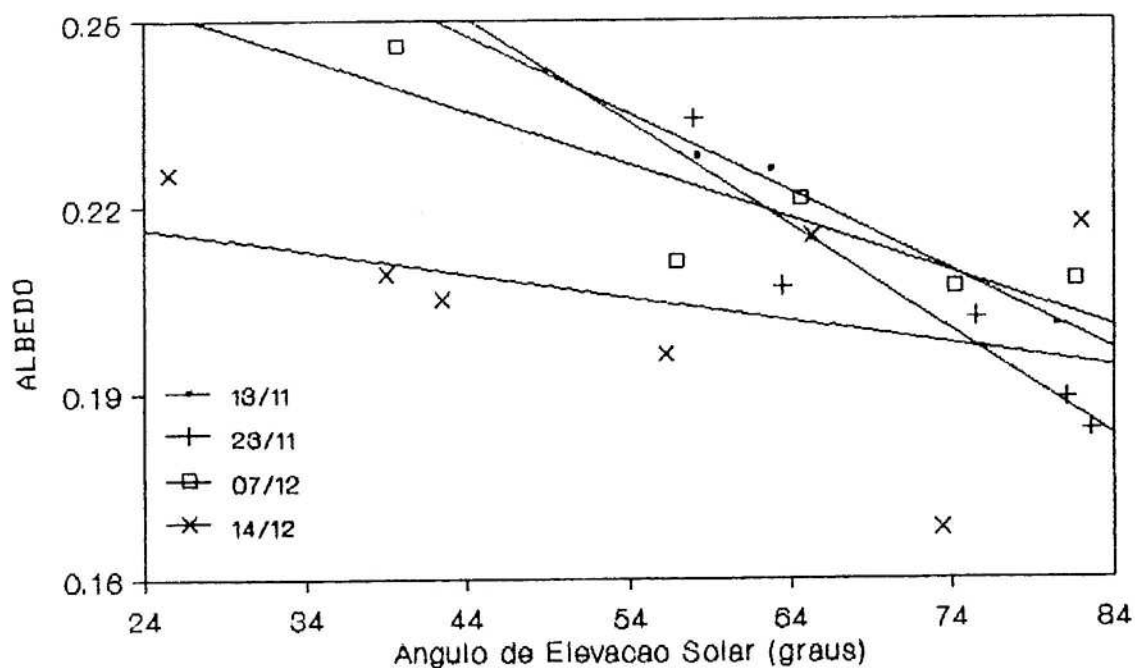


FIGURA 17 - Albedo da Parcela com 40.000 Plantas/ha em Função do Ângulo de Elevação Solar.

#### 4.2.2. Radiação Solar Global

Os dados de radiação solar global medidos nos terços inferior, médio e superior do dossel vegetativo foram normalizados com relação à radiação solar global medida no topo da cultura. A Figura 18 ilustra os valores médios diários dessas razões de radiação solar global nas três posições e densidades de plantio. A atenuação nos três níveis considerados foi maior na parcela P80 e menor na parcela P40, conforme esperado. Os valores médios diários da razão de radiação solar global nos três níveis no interior da cultura, nas três densidades de plantio, estão contidos no Quadro 15; pode-se perceber a influência

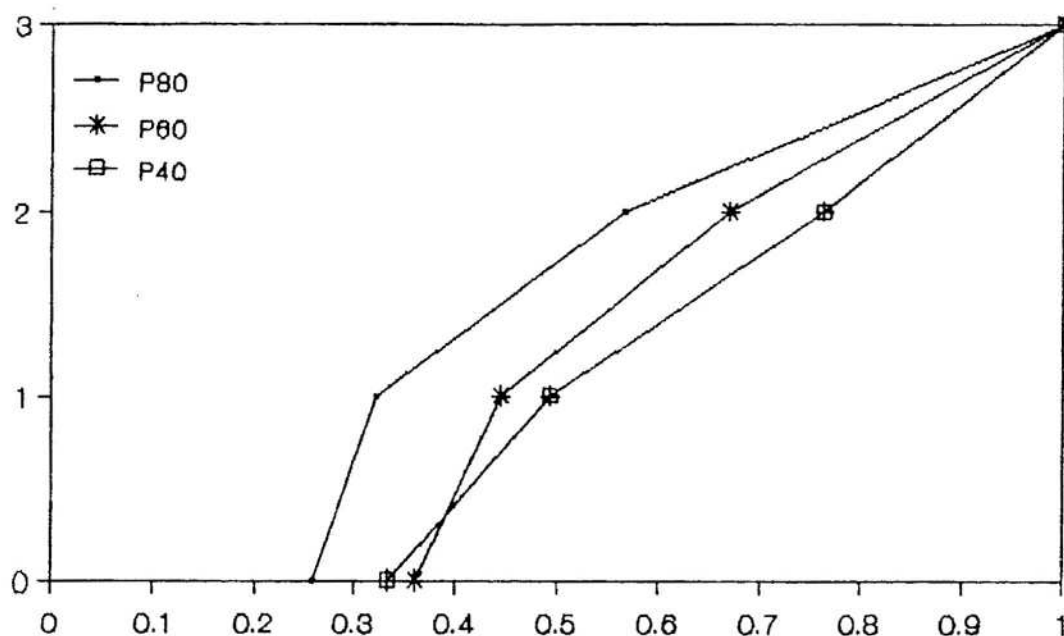


FIGURA 18 - Valores Normalizados Médios Diários da Radiação Solar Global em Três Níveis Internos da Cultura nas Parcelas com 80.000 Plantas/ha (P80), 60.000 Plantas/ha (P60) e 40.000 Plantas/ha (P40).

QUADRO 15 - Valores Normalizados Médios Diários de Radiação Solar Global nos Três Níveis no Interior da Cultura para as Três Densidades de Plantio

Níveis	Densidade de Plantio (plantas/ha)		
	80.000	60.000	40.000
Terço Superior	0,57	0,67	0,76
Terço Médio	0,32	0,44	0,49
Terço Inferior	0,26	0,36	0,33

da densidade de plantio na interceptação da radiação solar global no interior da cultura. Esses valores revelam que o percentual da radiação solar global no topo da cultura interceptada no terço superior variou de 24% na parcela P40 a 43% na parcela com maior densidade de plantio ( P80 ).

A fração interceptada no terço médio da cultura apresentou menor variação entre as três parcelas, de 23% na parcela P60 a 27% na parcela P40. O terço inferior da cultura foi o que apresentou menores percentuais de radiação solar global, conforme esperado, variando de 6% na parcela P80 a 16% na parcela P40.

#### 4.2.3. Radiação Fotossinteticamente Ativa

Os dados horários de radiação fotossinteticamente ativa também foram medidos em três níveis no interior da cultura (terço inferior, médio e superior do dossel vegetativo), sendo, em seguida, normalizados com relação à radiação fotossinteticamente ativa, medida no topo da cultura. Os valores médios diários das razões entre a radiação fotossinteticamente ativa medida em cada nível e a radiação fotossinteticamente ativa medida no topo da cultura, para as três densidades de plantio, são apresentadas na Figura 19. A variação da razão da radiação fotossinteticamente ativa nos três níveis apresenta uma tendência de variação semelhante nas três parcelas; a maior atenuação ocorreu no terço superior e a menor no terço inferior. A parcela P80 foi a que apresentou maior

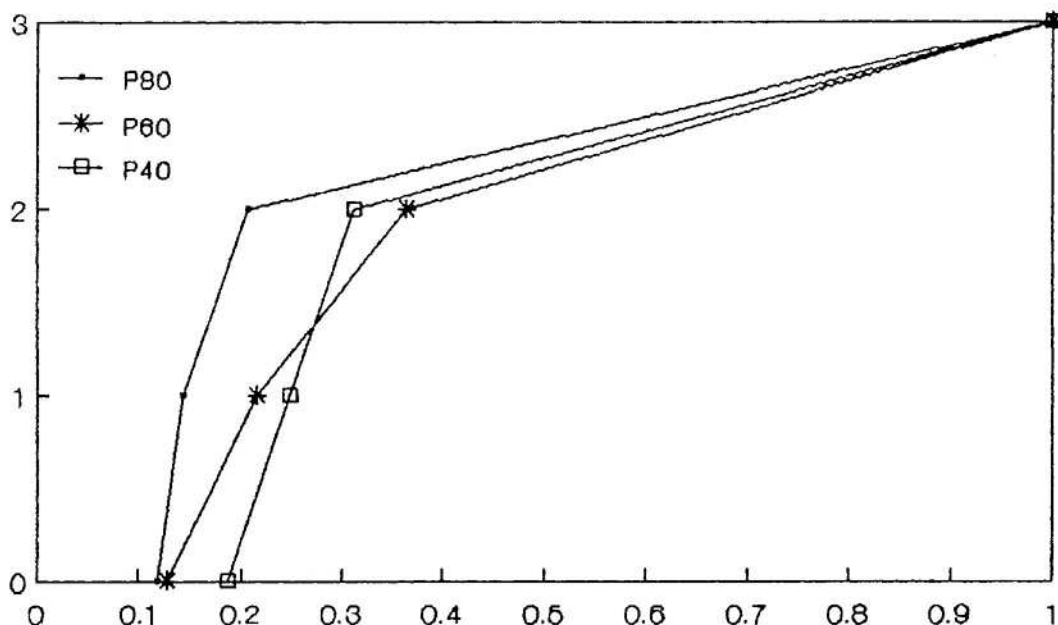


FIGURA 19 - Valores Médios Diários da Razão de Radiação Fotossinteticamente Ativa nas Parcelas com 80.000 Plantas/ha (P80), 60.000 Plantas/ha (P60) e 40.000 Plantas/ha (P40).

atenuação da radiação fotossinteticamente ativa nos três níveis considerados.

Os valores médios diários da razão da radiação fotossinteticamente ativa nos terços inferior, médio e superior do dossel vegetativo, nas três densidades de plantio, encontram-se no Quadro 16.

O percentual da radiação fotossinteticamente ativa interceptada no terço superior do dossel vegetativo variou de 79% na parcela P80 a 64% na parcela P60. Já no terço médio, este percentual variou de 14% na parcela P60 a 6% na parcela P40. Finalmente, no terço inferior, a percentagem de interceptação variou de 9% na parcela P60 a 2% na parcela P80.

QUADRO 16 - Valores Médios Diários da Razão de Radiação Fotossinteticamente Ativa nos Três Níveis no Interior da Cultura para as Três Densidades de Plantio

Níveis	Densidade de Plantio (plantas/ha)		
	80.000	60.000	40.000
Terço Superior	0,21	0,36	0,31
Terço Médio	0,14	0,22	0,25
Terço Inferior	0,12	0,13	0,19

#### 4.3. Influência de Variáveis Microclimáticas sobre o Crescimento e Desenvolvimento do Cultivar BR 201

Os resultados desta análise foram baseados na variação do coeficiente de extinção da radiação solar global e da radiação fotossinteticamente ativa em função do índice de área foliar, obtido a partir dos dados de radiação medidos acima da cultura com relação às respectivas medições de radiação nos três níveis internos do dossel vegetativo. Os coeficientes de extinção foram calculados com a equação 5, baseando-se na lei de Beer-Bougher-Lambert e sugerida por LOOMIS et alii (1968) :

$$\frac{I}{I_0} = \exp(-k IAF_a) \quad (5)$$

em que I é a radiação solar global ou radiação fotossinteticamente ativa, medida em qualquer nível no interior da cultura;

$I_0$  é a radiação solar global ou radiação fotossinteticamente ativa, medida acima da cultura;

$k$  é o coeficiente de extinção da radiação solar global ou radiação fotossinteticamente ativa; e  $IAF_a$  é o índice de área foliar acumulado a partir do topo da cultura até o nível considerado.

Os valores do coeficiente de extinção da radiação solar global ( $k_{RSG}$ ) e da radiação fotossinteticamente ativa ( $k_{PAR}$ ), nas três densidades de plantio, com os respectivos coeficientes de determinação da regressão entre a fração da radiação solar global, ou radiação fotossinteticamente ativa acima da cultura, e a respectiva radiação incidente no solo em função do índice de área foliar acumulado a partir do topo da cultura estão no Quadro 17.

A atenuação das radiações solar global e fotossinteticamente ativa, no dossel vegetativo, expressas em termos de uma função exponencial do índice de área foliar acumulado a partir do topo, foram bem descritas pela equação adaptada de Beer-Bouguer-Lambert. Os coeficientes de extinção nas parcelas P80 e P60 não apresentaram diferenças significativas, mas os valores calculados na parcela P40 foram nitidamente superiores. Os valores dos coeficientes de extinção da radiação fotossinteticamente ativa foram sempre superiores aos valores desses coeficientes calculados para a radiação solar global nas três densidades de plantio.

A atenuação das radiações solar global e fotossinteticamente ativa, nas três densidades de plantio, está ilustrada nas Figuras 20 e 21.

QUADRO 17 - Coeficientes de Extinção (k) Calculados com Base na Lei de Beer-Bouguer-Lambert para as Três Densidades de Plantio, com os Respetivos Coeficientes de Determinação

Densidade de plantio (plantas/ha)	$k_{RSG}$	$R^2$	$k_{PAR}$	$R^2$
80.000	0,84	0,97	1,34	0,99
60.000	0,79	0,89	1,27	0,99
40.000	1,08	0,97	1,70	0,99

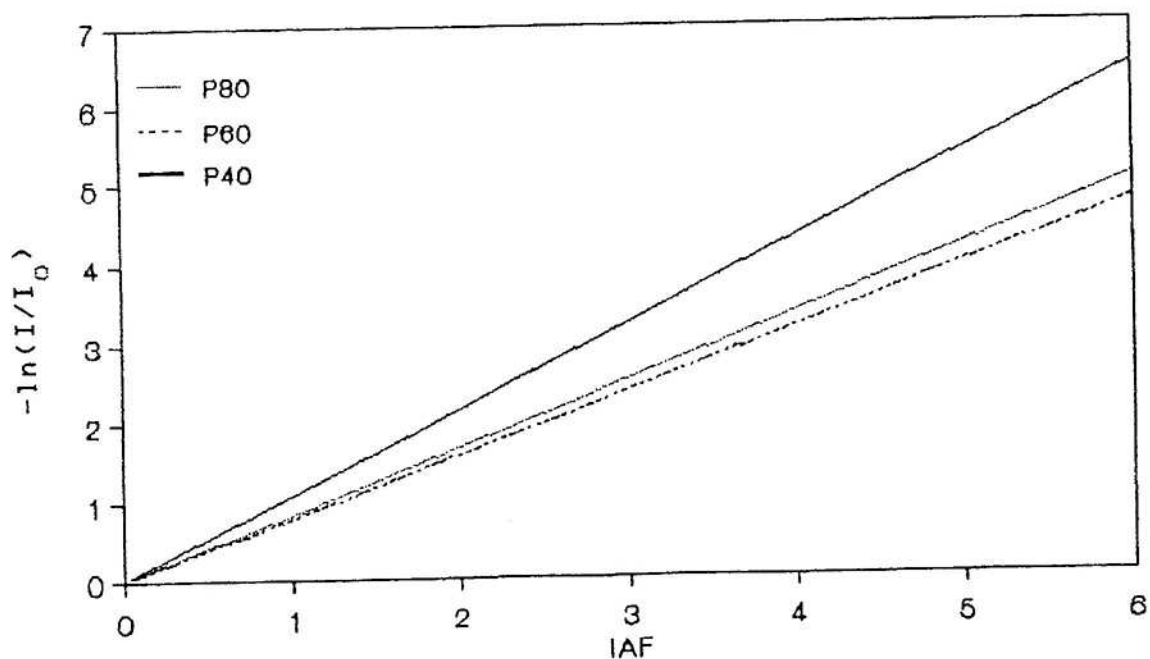


FIGURA 20 - Atenuação da Radiação Solar Global para o BR 201 em Três Densidades de Plantio.

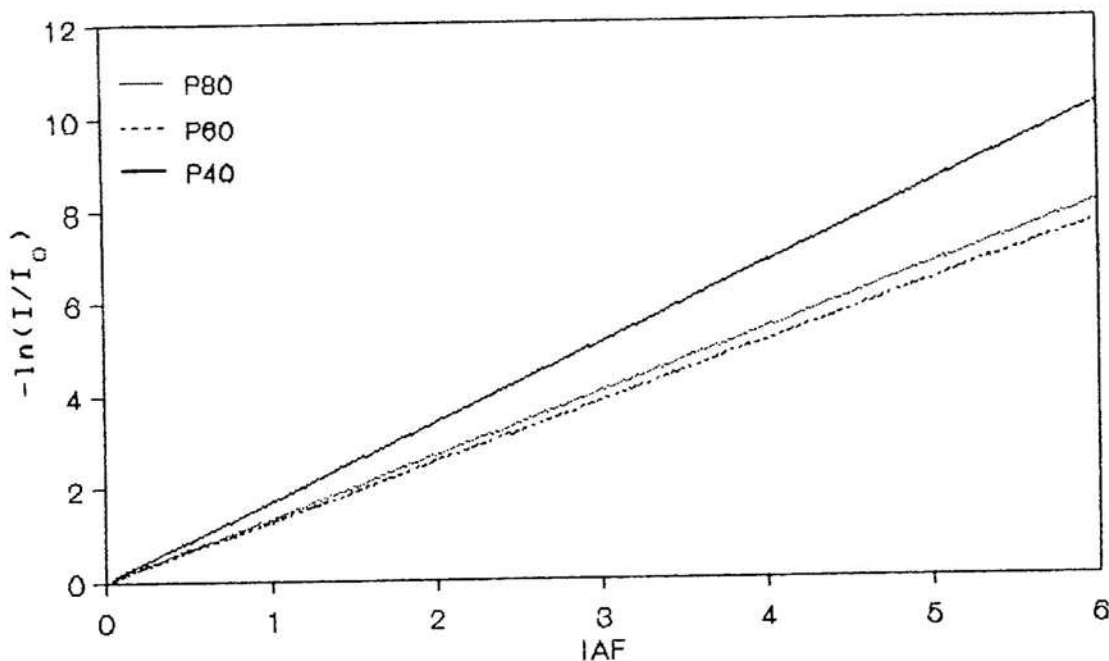


FIGURA 21 - Atenuação da Radiação Fotossinteticamente Ativa para o BR 201 em Três Densidades de Plantio.

Ao analisar a atenuação espectral da radiação fotossinteticamente ativa e da radiação do infravermelho próximo em três cultivares de milho, HATFIELD e CARLSON (1979) verificaram que os coeficientes de extinção eram diferentes para a radiação fotossinteticamente ativa e para a radiação do infravermelho próximo, embora variassem pouco dentro dessas faixas espectrais. Esses autores obtiveram, para o cultivar de milho Minnesota 4201 (com IAF=3,8) um coeficiente de extinção de 1,13 e de 0,40 para a radiação fotossinteticamente ativa e radiação do infravermelho próximo, respectivamente.

A relação entre o percentual de interceptação da radiação solar global, nos três níveis do dossel



vegetativo, em função do índice de área foliar, está ilustrado nas Figuras 22 a 24.

A variação do percentual de interceptação da radiação solar global, em função do índice de área foliar, foi similar nos três níveis do dossel, nas três densidades de plantio, aumentando com o índice de área foliar até atingir um valor máximo assintótico para cada nível estudado. No terço superior do dossel vegetativo, a parcela P80 apresentou maior interceptação da radiação solar global. No terço médio e no terço inferior do dossel vegetativo, a parcela com menor densidade de plantio (P40) apresentou os maiores percentuais de interceptação da radiação solar global. Resultados semelhantes foram obtidos com o percentual de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa nas três densidades de plantio, conforme ilustrado nas Figuras 25 a 27. Segundo SHIBLES e WEBER (1965), a dependência que há entre a taxa de produção de matéria seca e a interceptação da radiação solar acarreta importantes implicações, no que se refere a espaçamento e distribuição das plantas.

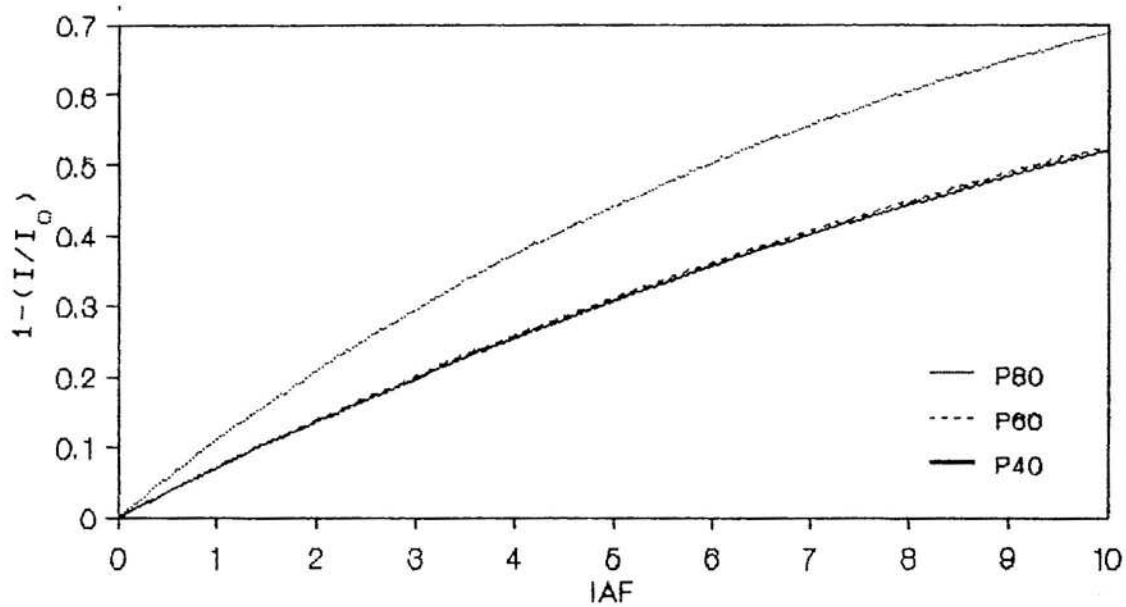


FIGURA 22 - Interceptação da Radiação Solar Global no Terço Superior do Dossel Vegetativo em Função do Índice de Área Foliar, para as Três Densidades de Plantio.

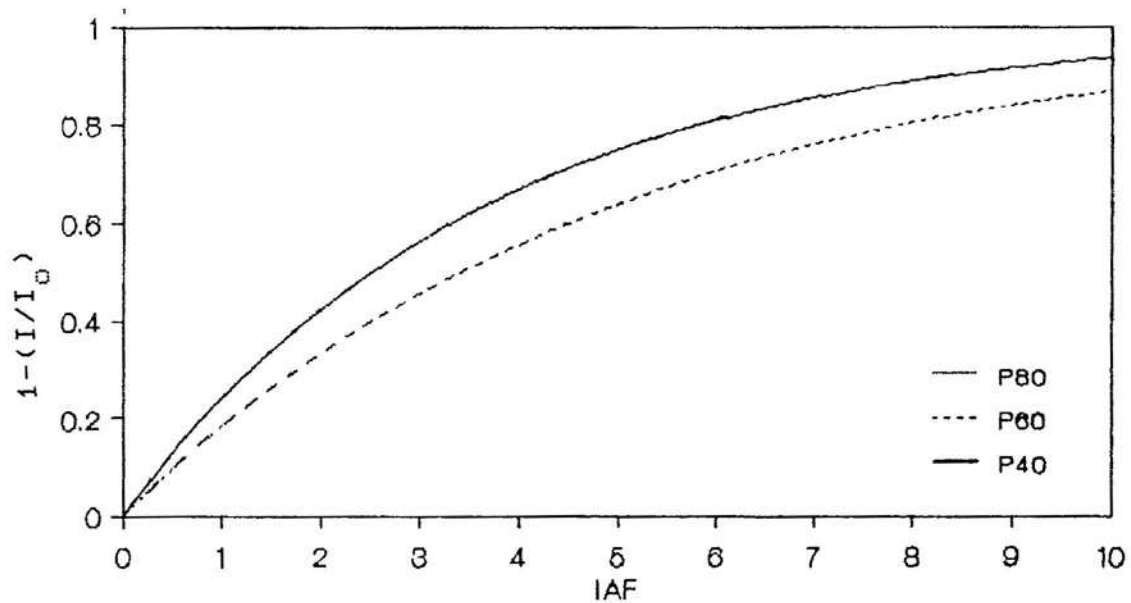


FIGURA 23 - Interceptação da Radiação Solar Global no Terço Médio do Dossel Vegetativo em Função do Índice de Área Foliar, para as Três Densidades de Plantio.

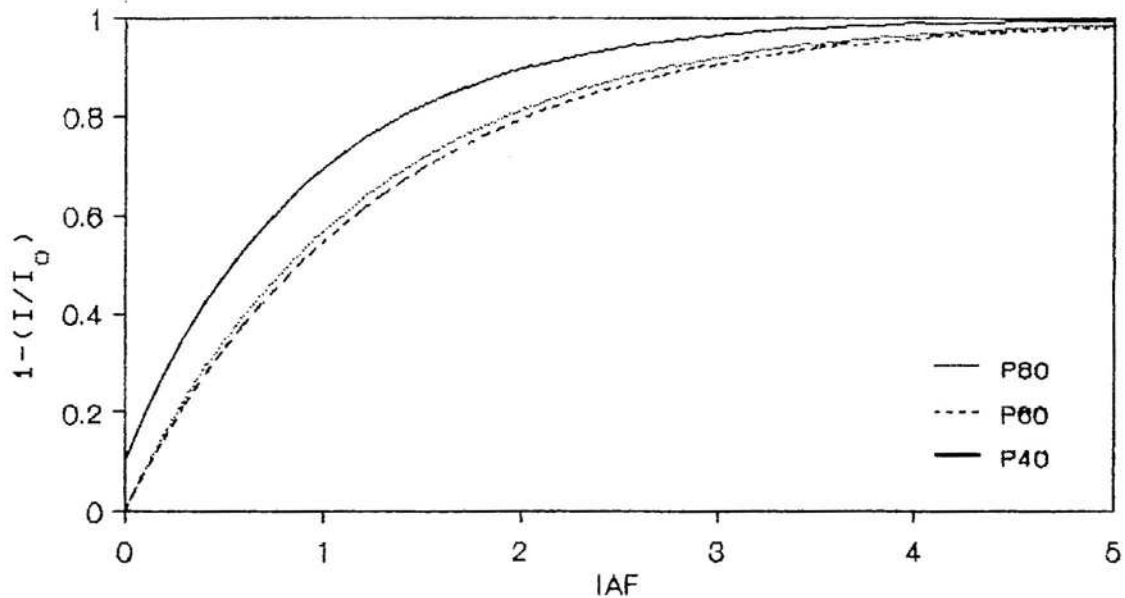


FIGURA 24 - Interceptação da Radiação Solar Global no Terço Inferior do Dossel Vegetativo em Função do Índice de Área Foliar, para as Três Densidades de Plantio.

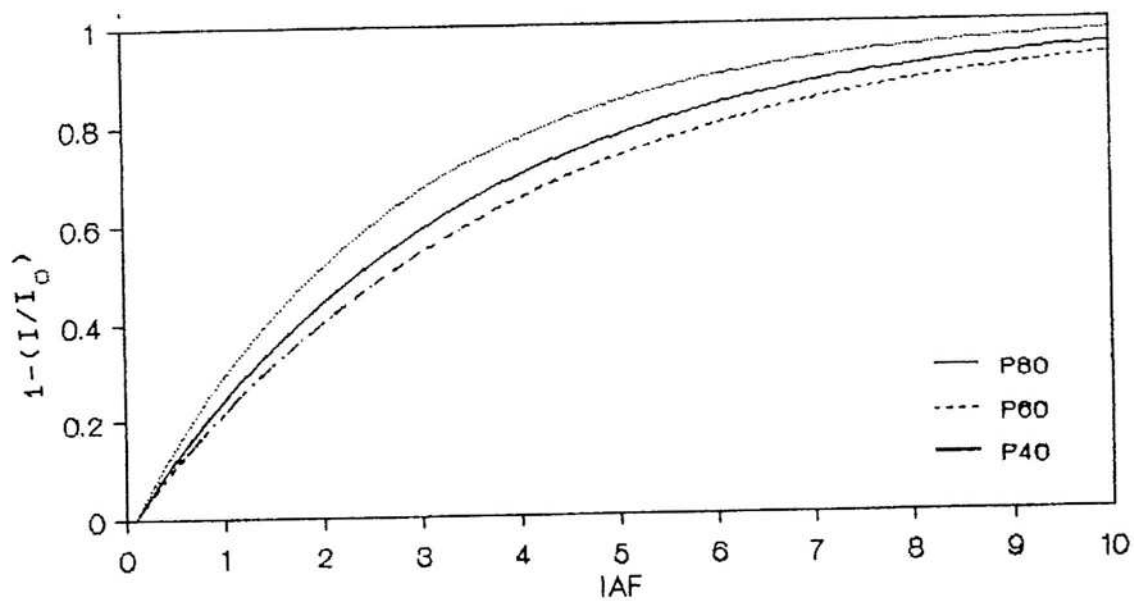


FIGURA 25 - Interceptação da Radiação Fotossinteticamente Ativa no Terço Superior do Dossel Vegetativo, em Função do Índice de Área Foliar, para as Três Densidades de Plantio.

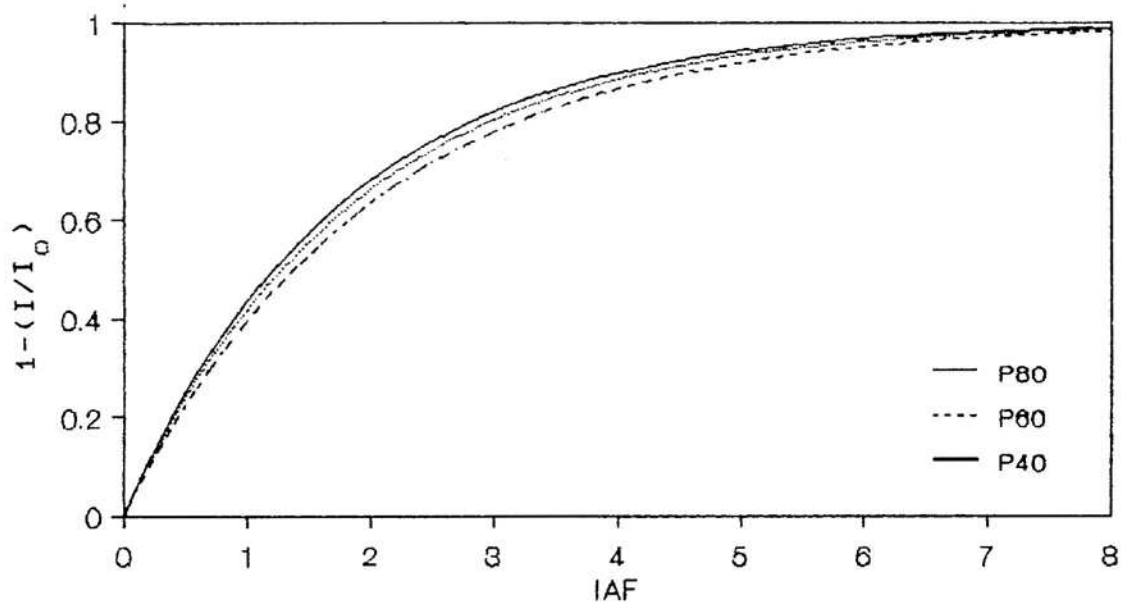


FIGURA 26 - Interceptação da Radiação Fotossinteticamente Ativa no Terço Médio do Dossel Vegetativo, em Função do Índice de Área Foliar, para as Três Densidades de Plantio.

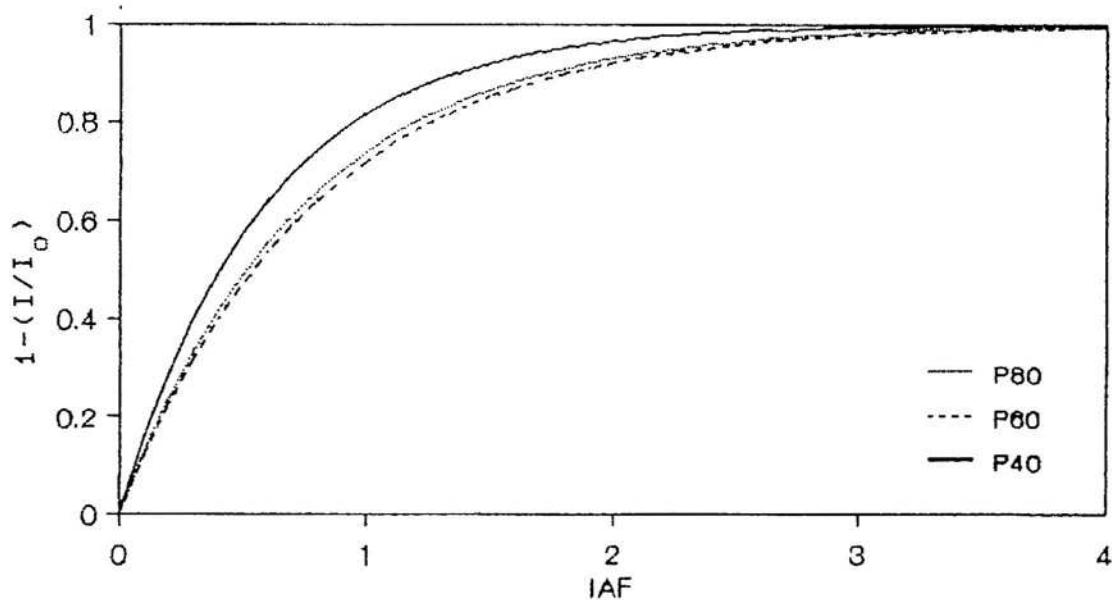


FIGURA 27 - Interceptação da Radiação Fotossinteticamente Ativa no Terço Inferior do Dossel Vegetativo, em Função do Índice de Área Foliar, para as Três Densidades de Plantio.

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

O crescimento do cultivar de milho BR 201 nas densidades de plantio de 40.000, 60.000 e 80.000 plantas/ha foram avaliados por técnicas de análise de crescimento, com base em dados de altura de planta, peso seco, índice de área foliar, taxa de crescimento relativo, razão de área foliar, taxa de crescimento da cultura e taxa de assimilação líquida. Várias funções matemáticas foram testadas e selecionadas para descrever a variação desses índices de crescimento em função do número de dias após a emergência das plantas. A ocorrência dos estádios de desenvolvimento fenológico do cultivar BR 201 foi expresso em termos de número de dias após a emergência e graus-dias acumulados a partir da emergência.

Os resultados das análises de regressão linear entre estádios fenológicos e graus-dias, acumulados a partir da emergência, ou número de dias após a emergência, indicaram que a taxa de desenvolvimento do cultivar de milho BR 201 foi inversamente proporcional à densidade de plantio. O número de dias, após a emergência, exigido pelo cultivar BR

201 para atingir a maturação fisiológica variou de 129 dias na parcela com 40.000 plantas/ha a 141 dias na parcela com 80.000 plantas/ha. As exigências de graus-dias para este cultivar completar seu ciclo variaram de 1.745 na parcela com 40.000 plantas/ha a 1.895 na parcela com 80.000 plantas/ha.

A altura das plantas despendoadas variou com a densidade de plantio, atingindo o valor máximo de 2,24 e 2,07 m nas parcelas com 80.000 e 40.000 plantas/ha, respectivamente. Os valores máximos de peso seco total, em ordem decrescente de densidade de plantio, foram 2,27, 2,03 e 1,57 kgm<sup>-2</sup>. Os valores máximos de índice de área foliar, em ordem decrescente de densidade de plantio, foram 6,7, 5,3 e 4,3. O tempo de ocorrência dos valores máximos de índice de área foliar também variou com a densidade de plantio, ocorrendo, em ordem decrescente de densidade de plantio, 77, 84 e 83 dias após a emergência. As taxas de crescimento relativo, taxas de crescimento da cultura e taxas de assimilação líquida foram, em média, superiores na parcela com maior densidade de plantio.

A caracterização do regime de radiação na cultura foi estabelecido com base nas medições de radiação solar global e radiação fotossinteticamente ativa, medidas acima da cultura e em três níveis do dossel vegetativo. Médias diárias de albedo para cada densidade de plantio foram obtidas, e a relação de dependência entre o albedo e o ângulo de elevação solar foi determinada.

A influência da radiação solar sobre o crescimento do cultivar foi baseada na variação do coeficiente de extinção

da radiação solar global e da radiação fotossinteticamente ativa, em função do índice de área foliar. A interceptação da radiação solar global e da radiação fotossinteticamente ativa foi analisada com base nas medições respectivas de radiação nos três níveis internos do dossel vegetativo, em função do índice de área foliar acumulado a partir do topo, usando-se uma equação análoga à lei de atenuação da radiação de Beer-Bouguer-Lambert. Os valores médios diários de albedo, em ordem decrescente de densidade de plantio, foram 0,23, 0,22 e 0,21. A maior atenuação da radiação fotossinteticamente ativa ocorreu na parcela com maior densidade de plantio. Os valores dos coeficientes de extinção da radiação fotossinteticamente ativa foram sempre superiores aos coeficientes de extinção da radiação solar global nas três densidades de plantio.

## BIBLIOGRAFIA

- ANDRADE, C. L. T. Balanco de água em um Latossolo Vermelho-Escuro álico, cultivado com milho, sob irrigação por aspersão. VIÇOSA, UFV, 1987. 84p. (Tese de M.S.).
- AUBERTIN, G. M. & PETER, D. B. Net radiation determination in a cornfield. Agron. J., 53:269-72, 1961.
- BROWN, K. W. & COVEY, W. The energy-budget evaluation of the micrometeorological transfer process within a cornfield. Agric. Met., 3:73-96, 1966.
- CAMPBELL, R. B., REICOSKY, D. C. & DOTY, C. W. Net assimilation within a canopy of sweet corn during drought. Agric. Met., 23:143-50, 1981.
- COULSON, K. L. & REYNOLDS, D. W. The spectral reflectance of natural surfaces. J. Appl. Meteorol., 10:1285-95, 1971.
- DAVIES, J. A. & BUTTIMOR, P. M. Reflection coefficients, heating coefficients and net radiation at Simcoe, S. Ontario. Agric. Met., 6:373-86, 1969.
- DENMEAD, O. T., GERBER, J. F. & DECKER, W. L. Evapotranspiration and heat budget of a cornfield. Agron. J., 53:259-61, 1961.
- DENMEAD, O. T., FRITSCHEN, L. T. & SHAW, R. H. Spatial distribution of net radiation in a cornfield. Agron. J., 54:505-10, 1962.
- FISHER, K. S. & PALMER, A. F. E. Maize. In : SYMPOSIUM ON POTENTIAL PRODUCTIVITY OF FIELD CROPS UNDER DIFFERENT ENVIRONMENTS. IRRI, Los Banos, Philippines, Sept, 1980. p. 22-6.
- HANWAY, J. J. Growth Stages of Corn (Zea mays L.). Agron. J., 55:487-92. 1963.



- HATFIELD, J.L. & CALRSON, R.E. Light quality distributions and spectral albedo of three maize canopies. Agric. Met., 20:215-26, 1979.
- LANDSBERG, J.J., POWEL, D.B.B. & BUTLER, D.R. Microclimate in apple orchard. J. Appl. Ecol., 10:881-96, 1973.
- LOOMIS, R.S., WILLIAMS, W.A., DUNCAN, W.G., DOURAT, A. & NUNEZ, A.F. Qualitative descriptions of foliage display and light absorption in field communities of corn plants. Crop Science, 8:352-56, 1968.
- MACHADO, E.C., PEREIRA, A.R., FAHL, J.I., ARRUDA, H.V., SILVA, W.J. & TEIXEIRA, J.P.F. Análise quantitativa de crescimento de quatro variedades de milho em três densidades. Pesq. Agrop. Bras., 17(6):825-33, 1982.
- MACHADO, M.C.M.S.T., REYES, F.G.R. & SGARBIERI, V.C. Estudo comparativo da composição química de um novo cultivar de milho, 'sugary-opaque-2-waxy' em relação aos seus ancestrais. In : ANAIIS DO XVI CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO. Sete Lagoas, MG, EMBRAPA/CNPMS, 1986. p. 93-8.
- MONTEITH, J.L. Principles of environmental physics. Edward Arnold, London, 1973, 241p.
- OGUNTOYINBO, J.S. Reflection coefficient of natural vegetation, crop and urban surfaces in Nigeria. Quart. J. Roy. Met. Society, 96:430-41, 1970.
- ROSENBERG, N.J., BLAD, B.L. & VERMA, S.B. Microclimate-The biological environment. John Wiley & Sons, New York, 1983. 495p.
- SAUGIER, B. Sunflower. In : MONTEITH, J.L. 'Vegetation and the atmosphere'. Academic Press, London, 1976. v.2, cap.4, p.87-119.
- SHIBLES, R.M. & WEBER, C.R. Leaf area, solar radiation interception and dry matter production by soybean. Crop Science, 5:575-77, 1965.
- TANNER, C.B., PETERSON, A.E. & LOVE, J.R. Radiant energy exchange in a corn field. Agron. J., 52:373-79, 1960.
- UCHIJIMA, Z. Maize and rice. In : MONTEITH, J.L. 'Vegetation and the atmosphere'. Academic Press, London, 1976. v.2, cap.2, p.33-64.
- WATSON, D.J. Comparative physiological studies on the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties and within and between years. Ann. Bot., 11:41-76, 1947.
- WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. Advances in Agronomy, 4:101-45, 1952.

- WATSON, D. J. The Dependence of net assimilation rate on leaf-area index. Ann. Bot., 22:37-54, 1958.
- WEBSTER, C. C. & WILSON, P. N. Agriculture in the tropics. Longman, London, 1980, 640p.
- WILLIAMS, W. A., LOOMIS, R. S. & LEPLEY, C. R. Vegetative growth of corn as affected by population density. II. Components of growth net assimilation rate and leaf-area index. Crop. Sci., 5:215-19, 1965.
- YAO, A. Y. M. & SHAW, R. H. Effects of plant population pattern of corn on the distribution of net radiation. Agron. J., 56:147-52, 1964.
- ZADOKS, J. C., CHANG, T. T. & KONZAK, C. F. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research, 14:415-21, 1974.