

# DOSES DE NITROGÊNIO E DENSIDADES DE LUZ NO CRESCIMENTO DO FEIJOEIRO E NA CONVERSÃO DA ENERGIA SOLAR<sup>1</sup>

ALEX A.F. DE ALMEIDA<sup>2</sup>, NEI F. LOPES<sup>3</sup>, MARCO A. OLIVA<sup>4</sup> e RAIMUNDO S. BARROS<sup>3</sup>

**RESUMO** - O crescimento e a eficiência na conversão da energia solar foram estudados em feijão (*Phaseolus vulgaris* L. cv. 'Negrito 897', cultivado em condições de campo, sob três níveis de luz (30%, 70% e 100% da radiação solar incidente) e três doses de nitrogênio (0, 30 e 60 kg/ha de N). As taxas de produção de matéria seca, de crescimento relativo e assimilatória líquida aumentaram com o incremento da densidade do fluxo radiante e doses de nitrogênio. As variações na taxa de crescimento relativo envolveram mudanças na taxa assimilatória líquida e na razão de área foliar; ambas apresentaram uma forte tendência de decréscimo com a ontogenia das plantas. A razão de área foliar aumentou com a redução da densidade do fluxo radiante, em virtude da maior área foliar e concomitante redução do peso da matéria seca das plantas sombreadas. Entretanto, a razão de peso foliar não foi influenciada pelo sombreamento nem pelas doses de nitrogênio, pois ambos, reduziram, de maneira similar, a matéria seca das folhas e da planta toda. Já a área foliar específica aumentou com a redução da densidade do fluxo luminoso, em virtude do aumento na área foliar e redução do peso da matéria seca das folhas do feijoeiro sombreado, sem mostrar, contudo diferenças a doses de nitrogênio. Houve aumento na eficiência da conversão da energia solar, com a redução da radiação solar e incremento da adubação nitrogenada.

Termos para indexação: *Phaseolus vulgaris*, radiação solar e nitrogênio.

## NITROGEN LEVELS AND LIGHT FLUX DENSITIES ON COMMON BEAN GROWTH AND SOLAR ENERGY CONVERSION

**ABSTRACT** - Growth and evaluation of efficiency of solar energy conversion were studied in beans (*Phaseolus vulgaris* L. cv. 'Negrito 897'), grown in the field under: three light flux densities (30%, 70% and 100% of sunlight) and three nitrogen levels (0, 30 and 60 kg/ha of N). Crop growth rate, relative growth rate and net assimilation rate increased as a function of light flux density. Relative growth rate, net assimilation rate and leaf area ratio showed strong tendency to decrease with plant ontogeny. Leaf area ratio increased with shading caused by great leaf area with a simultaneous reduction in dry weight of shaded plants. However, leaf weight ratio was not affected by light or nitrogen levels because reduction in both light and nitrogen levels caused a decrease in leaf and plant dry weights. Whereas specific leaf area increased with reduction in light due to increase on leaf area and reduction of leaf dry weight in shaded beans, there was not significant differences due to nitrogen level. There was an enhancement on efficiency of solar energy conversion with the decrease in solar radiation and increase in nitrogen levels.

Index terms: *Phaseolus vulgaris*, nitrogen solar light levels.

## INTRODUÇÃO

A eficiência de conversão da energia solar pelas folhas, expressa através da taxa assimilatória líquida, difere em uma série de variedades de feijoeiro (Wallace & Munger 1965). A radiação solar elevada promove, nesta espécie, um aumento tanto do crescimento vegetativo como do reprodutivo. Por outro lado, o crescimento é reprimido drasticamente sob baixa densidade do fluxo radiante (Magalhães &

Montojos 1971). Disso depreende-se a importância da redução da radiação solar incidente no feijoeiro em consórcio com culturas de porte mais alto.

A relação entre a disponibilidade do nitrogênio e a eficiência de conversão da radiação solar não tem sido claramente estabelecida. Durante o período vegetativo, o nitrogênio induz um aumento na produção de matéria seca e, neste caso, a taxa de acúmulo de matéria seca é intensificada com o aumento do nível de radiação (Chan & Mackenzie 1972). Ao contrário, altas dosagens de nitrogênio podem provocar a queda na produção de matéria seca em condições de baixos níveis de radiação (Murata 1969), em função, principalmente, da redução da fotossíntese líquida.

Neste trabalho, estudaram-se os efeitos da combinação de doses de nitrogênio e níveis de luz sobre o crescimento e conversão da energia solar em *Phaseolus vulgaris* L. cv. 'Negrito 897'.

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 23 de novembro de 1987.

Parte da Tese apresentada para obtenção do Grau de Mestre em Fisiologia Vegetal à UFV, pelo primeiro autor.

<sup>2</sup> Eng. - Agr., M.Sc., CEPLAC/CEPEC, CEP 45600 Itabuna, BA.

<sup>3</sup> Eng. - Agr., Ph.D., Prof. - Adjunto, Dep. de Biol. Vegetal, UFV, CEP 36570 Viçosa, MG.

<sup>4</sup> Biol., Dr. rer. nat., Prof. - Adjunto, Dep. de Biol. Vegetal, UFV.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em terreno da Universidade Federal de Viçosa, no ano agrícola de 1983/84, em solo Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico, fase terraço, apresentando fertilidade média e textura argilosa.

Após preparo do solo, a área foi sulcada, recebendo nos sulcos uma adubação básica 0, 30 e 60 kg/ha de N, 90 kg/ha de  $P_2O_5$  e 60 kg/ha de  $K_2O$ , na forma de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente.

A adubação nitrogenada foi parcelada em 1/3 no plantio e 2/3 em cobertura, 20 dias após a emergência das plantas. A semeadura da cultivar 'Negrito 897' foi feita na densidade populacional de 240 mil plantas/ha. Capinas foram realizadas aos 20 e 35 dias após a emergência das plantas.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em parcelas sub-subdivididas, com três repetições. Cada parcela correspondia a uma época de coleta do material e era formada de três subparcelas, correspondentes a diferentes níveis de radiação solar (30%, 70% e 100% da radiação solar incidente). Cada subparcela era constituída de três sub-subparcelas, correspondentes a diferentes doses de nitrogênio (0, 30 e 60 kg/ha de N). Cada sub-subparcela era constituída de quatro fileiras de 3,0 m de comprimento; duas eram tidas como bordadura. O intervalo entre fileiras era de 0,50 m. Nas coletas, desprezava-se 0,50 m nas extremidades e, portanto, a área útil da sub-subparcela era de 2,0 m<sup>2</sup>. O experimento consistiu em seis coletas sucessivas das plantas, a intervalos regulares de quatorze dias, durante todo o ciclo da cultura, sendo a primeira realizada sete dias após a emergência.

O sombreamento artificial, efetuado com vistas a simular condições de consórcio, foi obtido com telas de plástico (sombrite 1003 e 1007) pretas, que propiciaram 30% e 70% de redução da radiação solar incidente. As telas foram pregadas em armações de madeira, o que possibilitava sua elevação, à medida que as plantas cresciam. Os tratamentos foram aplicados no sétimo dia após o plantio, data de emergência das plantas.

Em cada coleta, na área útil, as plantas eram cortadas rente ao solo e o sistema radicular extraído em blocos de terra e lavado em peneiras. O peso da matéria fresca, tanto da parte aérea como das raízes, era tomado no próprio local. Para a determinação da matéria seca e área foliar foram amostrados 0,5 m<sup>2</sup> de cada sub-subparcela. A secagem era feita em estufa de ventilação forçada, à temperatura de 75°C. A área foliar era determinada com medidor de área portátil, marca LICOR, modelo LI-3000.

Os dados primários de matéria seca total ( $W_t$ ) e área foliar ( $A_f$ ) foram submetidos à análise de variância. Curvas logísticas de crescimento (Richards 1969) foram ajustadas por um programa interativo, para minimizar a variância residual. A equação logística empregada foi  $W_t = W_m / (1 + Be^{-Ct})$ , sendo  $W_m$  a estimativa assintótica do crescimento máximo,  $t$ , os dias de crescimento, e  $B$  e  $C$ , constantes de ajustamento. A regressão curvilínea das médias de  $A_f$ , acumulada em cada coleta, foi efetuada com o emprego de polinômios ortogonais. Procurou-se chegar ao polinô-

mio que melhor se ajustasse aos valores de  $A_f$  observados, de acordo com Radford (1967).

Para determinar valores instantâneos da taxa de produção de matéria seca ( $C_t$ ), empregou-se a derivada da equação ajustada ao peso da matéria seca ( $W_t$ ), em relação ao tempo (Richards 1967, Radford 1967).

Os valores instantâneos da taxa de crescimento relativo ( $R_w$ ) e da taxa de crescimento relativo da área foliar ( $R_A$ ) foram obtidos pelas fórmulas  $R_w = C_t/W_t$  e  $R_A = 1/A_f \cdot dA_f/dt$ . Para estimar a taxa assimilatória líquida ( $E_A$ ) foram usados os valores instantâneos de  $C_t$  e  $A_f$  empregados na equação  $E_A = C_t/A_f$ .

A razão de área foliar ( $F_A$ ), a razão de peso foliar ( $F_W$ ) e a área foliar específica ( $S_A$ ) foram determinadas a partir de valores instantâneos de  $A_f$ ,  $W_f$  e  $W_t$ , empregando-se as equações  $F_A = A_f/W_t$ ;  $F_W = W_f/W_t$  e  $S_A = A_f/W_f$ , de acordo com Richards (1967).

Os valores instantâneos da eficiência de conversão da energia solar ( $\xi$ ) foram determinados a partir da equação  $\xi \% = (100 \times C_t \times \delta) / R_a$ , na qual  $R_a$  representava o valor médio diário da radiação solar total incidente, em cal.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, registrada nos cinco dias anteriores ao  $C_t$  correspondente. O valor calorífico ( $\delta$ ) utilizado foi de 4000 cal.g<sup>-1</sup>, segundo determinações realizadas por Pflanz (1964), citado por Kvet et al. (1971).

A radiação solar total incidente foi obtida com um solarímetro Kipp-Zonen, modelo CM6, acoplado a um milivoltímetro registrador. A temperatura e a umidade relativa do ar foram registradas por um termoigrógrafo Lambrecht, modelo 252. A precipitação pluvial foi determinada por meio de um pluviômetro. Os dados meteorológicos foram registrados no próprio local do experimento.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores máximos de  $C_t$ , na dose de 60 kg/ha de N, foram de 2,8; 4,3 e 2,4 g.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, em ordem decrescente do nível de radiação solar, sendo alcançados aos 23, 21 e 23 dias após a emergência (Fig. 1). Valores semelhantes foram encontrados por Cardoso (1985) em cultivo de feijoeiro 'Negrito 897' em sistema intercalar com o milho. A maior amplitude nas curvas de  $C_t$  foi obtida no nível de 100% de radiação com 60 kg/ha de N. O valor máximo de  $C_t$  foi obtido no nível de 70% de radiação e 60 kg/ha de N, mas com menor amplitude da curva. Também pode-se observar que os mais baixos valores de  $C_t$  foram obtidos nos tratamentos e equivalentes a 0 kg/ha de N, em todos os níveis de radiação. Já nos níveis de 100% e 70% de radiação, praticamente, não houve diferenças nos valores de  $C_t$  na dosagem de 30 kg/ha de N.

A 30% da radiação solar observou-se o menor valor de  $C_t$ , sob condições de alta dosagem de nitrogênio (60 kg/ha de N). Semelhantemente, Murata

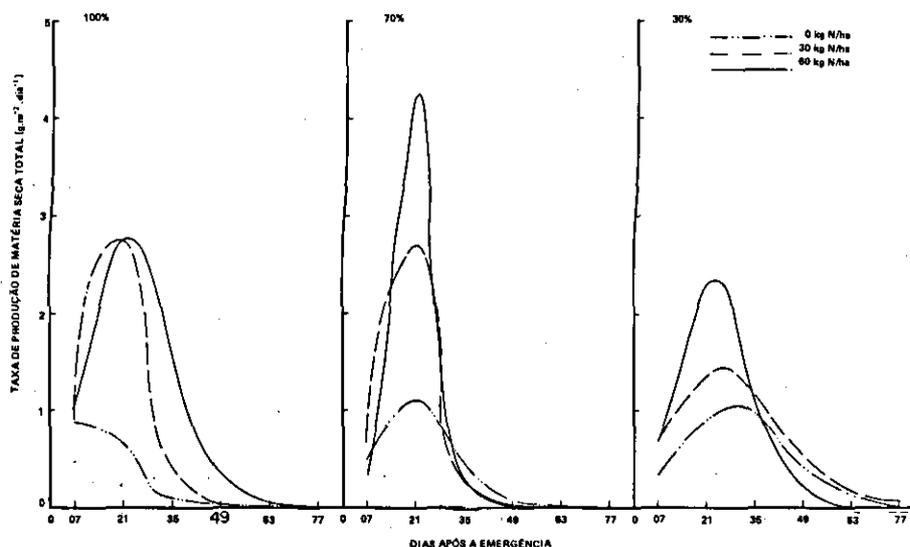


FIG. 1. Taxa de produção da matéria seca total de plantas cultivadas sob três níveis de radiação solar e três doses de nitrogênio.

(1969) também registrou, em arroz, queda na matéria seca em condições de baixos níveis de radiação e altas dosagens de N. O fornecimento de N e o nível de luz, numa combinação balanceada, aumentam a eficiência fotossintética, o crescimento e a produção de matéria seca (Chernavskaya & Nichiporovich 1966), visto que energia e esqueletos carbonados para assimilação do nitrogênio são provenientes dos fotoassimilados e a produção de novos tecidos, pelo suprimento de nitrogênio.

Os valores máximos do índice de área foliar (L), mostrados na Fig. 2, foram de 0,96 ao nível de 100% de radiação e 30 kg/ha de N e de 1,06 e 1,11 nos níveis de 70% e 30% de radiação, respectivamente, associados com 60 kg/ha de N. Tais valores foram alcançados aos 28 dias após a emergência, para todos os níveis de luz e doses de nitrogênio. Houve tendência de incremento de L com a redução da densidade do fluxo radiante, associado com o aumento das doses de nitrogênio.

No tratamento de 0 kg/ha de N observa-se apenas um ligeiro acréscimo de L, em ordem decrescente dos níveis de luz. Em feijão (*Phaseolus vulgaris*), a área foliar ( $A_f$ ) e sua taxa de expansão aumentam com a diminuição da densidade do fluxo radiante, o que talvez represente um mecanismo de

adaptação do feijoeiro a baixos níveis de luz (Lopes et al. 1982), permitindo uma captação mais eficiente da luz disponível. Como  $A_f$  depende do tamanho e número de folhas, neste experimento o tamanho das folhas foi o principal componente de  $A_f$ . Desse modo, a maior área de cada folha compensou os efeitos do menor número de folhas no estabelecimento de  $A_f$  (Almeida 1985). Tanto a percentagem de interceptação de radiação solar, quanto a taxa de produção de matéria seca, aumentam com o desenvolvimento da área foliar (Brougham 1956).

Observou-se, neste estudo, a tendência de os maiores níveis de radiação solar e doses de nitrogênio propiciarem valores superiores na taxa assimilatória líquida ( $E_A$ ), como na Fig. 3. Os valores de  $E_A$  mostraram-se elevados durante a fase vegetativa, decrescendo na fase reprodutiva, o que também foi verificado em soja por Köller et al. (1970). Com o aumento do nível de luz, a 100% da radiação solar e 60 kg/ha de N, o declínio de  $E_A$  foi bastante suave, o que, aumentou sua amplitude. Este resultado é bem característico do 'Negrito 897', que é uma cultivar de hábito de crescimento indeterminado do tipo II, hastes curtas (Centro Internacional de Agricultura Tropical 1978), e em que  $A_f$  decresce suavemente durante a fase de enchimento de grãos.

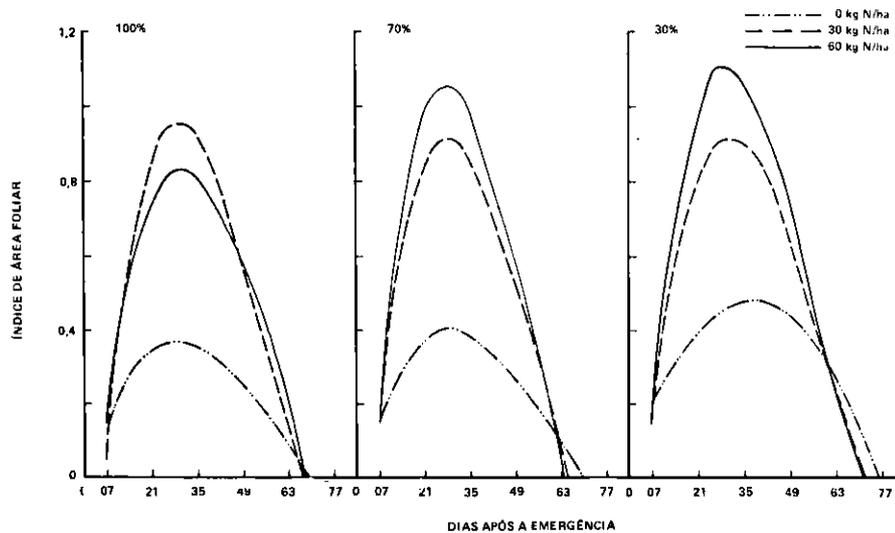


FIG. 2. Índice da área foliar de plantas cultivadas sob três níveis de radiação solar e três doses de nitrogênio.

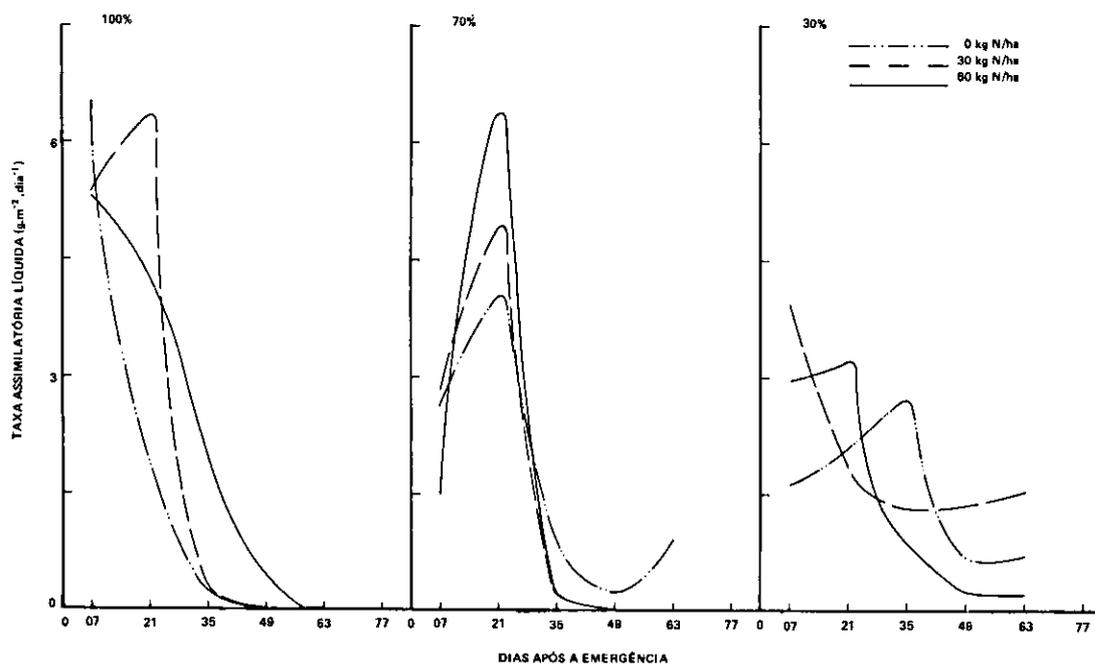


FIG. 3. Taxa assimilatória líquida de plantas cultivadas sob três níveis de radiação solar e três doses de nitrogênio.

Utilizando sistemas de cultivos associados e exclusivos de milho e feijão, Araújo (1983) atribuiu o declínio mais acentuado de  $E_A$ , nos sistemas de plantio em faixas alternadas e intercalar que nos monocultivos, à competição entre as plantas de milho e de feijão por luz e nutrientes.

Em plantas de soja, Buttery (1969) atribuiu o declínio de  $E_A$  ao auto-sombreamento, à formação de sementes e à senescência foliar. Observa-se ademais que  $E_A$ , ao nível de 30% de radiação e 0 kg/ha de N (Fig. 3), mostrou um padrão diferente no período da floração. Franco et al. (1979) observaram que, mesmo após a floração, o feijoeiro é aparentemente capaz de absorver e assimilar  $\text{NO}_3^-$ , o que foi confirmado pelo aumento do conteúdo de  $\text{NO}_3^-$  no caule associado com a alta atividade da redutase do nitrato nas folhas, encontrado por eles. O valor máximo de  $E_A$ , obtido ao nível de 70% de radiação e 60 kg/ha de N, foi de  $6,4 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$ , atingido aos 21 dias após a emergência. Observou-se uma tendência de os menores níveis de luz induzirem baixas amplitudes de curvas de  $E_A$  em comparação com a amplitude de curva de  $E_A$  para plena radiação e com 60 kg/ha de N.

OS maiores níveis de radiação solar propiciaram

altos valores de  $R_A$ , principalmente ao nível de 100% de radiação e 30 kg/ha de N (Fig. 4). Praticamente não houve diferenças nos valores de  $R_A$  nos níveis de 30% e 70% de radiação, associados com 30 e 60 kg/ha de N. Os valores de  $R_A$ , no tratamento equivalente a 0 kg/ha de N, nos níveis de 70% e 100%, foram semelhantes. Os baixos valores de  $R_A$  sob condições de baixa densidade do fluxo radiante aconteceram, provavelmente, em função de algum mecanismo de compensação das plantas do feijoeiro, como observaram também Cooper & Qualls (1967), Knecht & O'Leary (1972) e Lopes et al. (1982). Plantas mais tolerantes ao sombreamento, mesmo aumentando sua área foliar em baixa luminosidade, mostram valores elevados de  $\alpha$  ( $R_W/R_A$ ) (Whitehead & Myerscough 1962).

Os baixos valores de  $R_A$ , encontrados no tratamento equivalente a 0 kg/ha de N, em todos os níveis de radiação, confirmam a sugestão de Milthorpe & Moorby (1974) de que o desenvolvimento de uma folha depende do fornecimento de nutrientes minerais, especialmente de nitrogênio, e de efeitos diretos da luz e da temperatura na sua expansão.

A Fig. 5 mostra a evolução da taxa de crescimento relativo ( $R_W$ ), isto é,  $E_A \times F_A$ . Observa-se

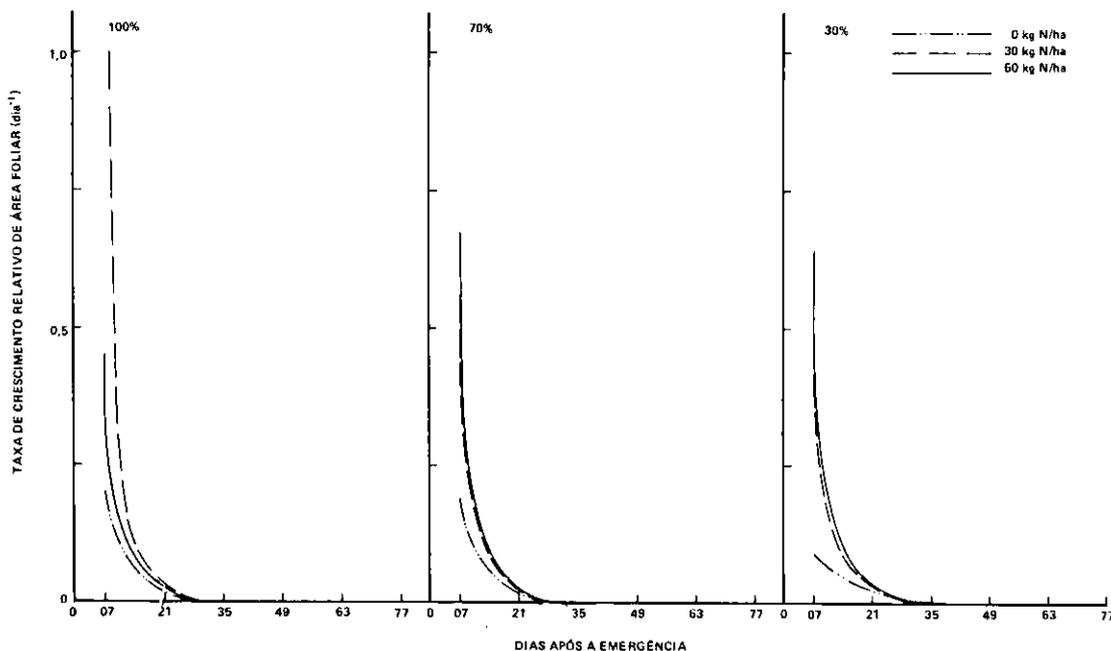


FIG. 4. Taxa de crescimento relativo da área foliar de plantas cultivadas sob três níveis de radiação solar e três doses de nitrogênio.

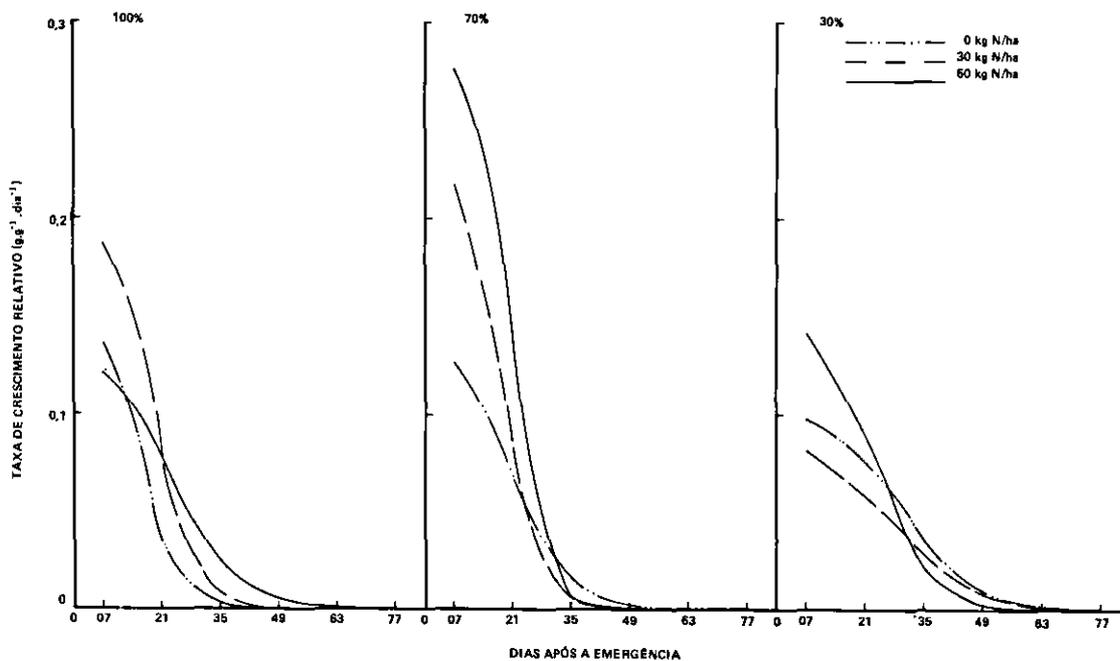


FIG. 5. Taxa de crescimento de plantas cultivadas sob três níveis de radiação solar e três doses de nitrogênio.

que os valores são relativamente altos, principalmente a 70% de radiação, decrescendo rapidamente até o 35º dia após a emergência, quando as curvas passam a ser semelhantes. Após essa data, o declínio continua, mais lentamente, até o final do experimento. Observa-se um ligeiro aumento em  $R_W$  de plantas sombreadas, fato também verificado, em feijoeiro, por Lopes et al. (1982), trabalhando em casa-de-vegetação. A taxa máxima foi de  $0,28 \text{ g.g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ , no nível de 70% de radiação e 60 kg/ha de N.

Trabalhando com o feijoeiro 'Rico 23', sob várias densidades populacionais, Brandes et al. (1973a) encontraram um valor máximo de  $R_W$  em torno de  $0,29 \text{ g.g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ , durante a estação chuvosa em Viçosa, MG, para uma população de 250 mil plantas/ha.

Em soja, Melges (1983) encontrou uma taxa de  $0,10 \text{ g.g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ , no nível de 100% de radiação. Tanto  $R_W$  como  $F_A$  apresentaram uma forte tendência de decréscimo de seus valores à medida que as plantas envelheceram. O decréscimo de  $R_W$  com a idade, em parte, pode ser resultado do aumento gradual de tecidos não-assimilatórios (Williams 1946). Os maiores valores de  $R_W$  no nível de 70% de radiação, em relação aos níveis de 30% e 100%, aconte-

ceram possivelmente, em virtude da grande diferença de  $F_A$ , entre os níveis de luz, até o 21º dia após a emergência (Fig. 6).

O tratamento 30 kg/ha de N mostrou uma tendência de aumento de  $F_A$  a partir dos 21 dias após a emergência, sob todos os níveis de radiação (Fig. 6), com o decréscimo de  $R_W$  (Fig. 5). Esse fato pode ser atribuído a uma diminuição de  $E_A$ , neste mesmo intervalo de tempo (Fig. 3). Em todos os níveis de radiação, houve um aumento de  $R_W$ , com o aumento da adubação nitrogenada (Fig. 5).

A razão de área ( $F_A$ ), que representa o tamanho da superfície assimilatória em relação à matéria seca total ( $W_t$ ), apresentou valores mais elevados em plantas submetidas a sombreamento e níveis mais altos de nitrogênio (Fig. 6). Altos níveis de nitrogênio promovem o crescimento dos ramos, em detrimento do crescimento das raízes, e o mesmo efeito pode ser obtido sob condições de baixa densidade do fluxo radiante (Wareing & Patrick 1975). Isso se deve à grande redução de  $W_t$  e ao aumento de  $A_f$  nas plantas sombreadas. Resultados semelhantes foram registrados em feijoeiro (Lopes et al. 1982), alfafa e cornichão (Cooper 1966) e soja (Rocha et al. 1970, Melges 1983).

A área foliar por planta depende do número de

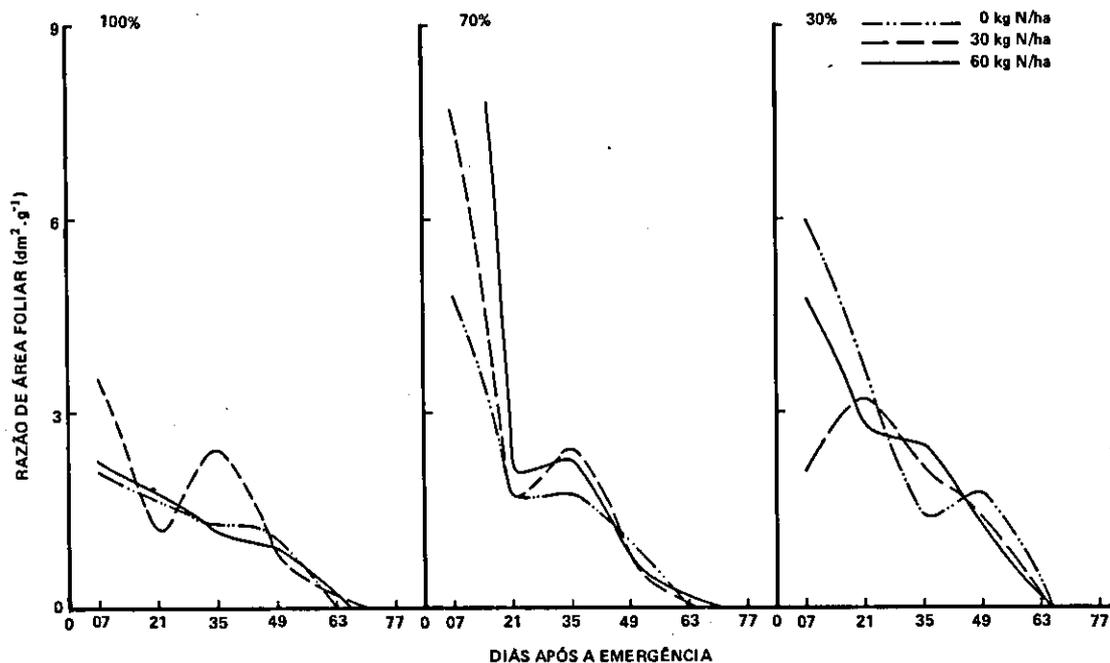


FIG. 6. Razão da área foliar de plantas cultivadas sob três níveis de radiação solar e três doses de nitrogênio.

primórdios foliares, da área foliar individual, da taxa de senescência e da abscisão foliar.  $F_A$  apresentou forte tendência de decréscimo com a ontogenia das plantas. Os depósitos metabólicos explorados economicamente competem com estruturas vegetativas, reduzindo o crescimento do caule e acelerando a senescência das folhas. Em soja, esse declínio progressivo de  $F_A$  indica um aumento na queda de folhas e, também, que menor quantidade de assimilados é destinada à produção de folhas, mesmo que o índice de área foliar ( $L$ ) aumente (Scott & Batchelor 1979).

A força mobilizadora máxima da folha no feijoeiro é alcançada quando ela atinge 7 a 8 cm<sup>2</sup> de área (9% a 10% do tamanho da folha completamente expandida); depois disso, a força do dreno declina rápida e assintoticamente próxima ao valor zero, quando a folha atinge cerca de 45% da área final. Durante este período, o rápido declínio na translocção é compensado por uma rápida ascensão na taxa fotossintética na folha, que passa a manter uma taxa relativamente constante próxima do aumento da matéria seca, até que sua expansão atinja cerca de 17% de sua área final (Swanson & Hoddinott 1978).

Em soja, Buttery & Buzzell (1972) observaram que baixos valores de  $F_A$  favorecem altas taxas fotossintéticas. Desse modo, plantas que apresentam

baixo  $F_A$  têm dreno mais ativo para seus produtos de assimilação, e isso pode ser verificado com os baixos valores de  $F_A$  obtidos ao nível de 100% de radiação solar (Fig. 6).

$F_A$  tem como componente a razão de peso foliar ( $F_W$ ) e a área foliar específica ( $S_A$ ), sendo  $F_W$  a razão entre a área foliar específica ( $S_A$ ) e matéria seca total ( $W_t$ ). Na Fig. 7, observa-se que houve uma tendência de os valores de  $F_W$  não diferirem com a diminuição da densidade do fluxo radiante e doses de nitrogênio. Valores semelhantes de  $F_W$ , sob todos os níveis de radiação, foram encontrados por Lopes et al. (1982). O sombreamento reduz tanto o peso das folhas quanto o da planta inteira; portanto, como sugere Blackman (1956), a razão entre  $W_f$  e  $W_t$  é pouco influenciada pelo fator luz. Os valores de  $F_W$  decresceram com a ontogenia das plantas (Fig. 7).

A área foliar específica ( $S_A$ ), dada pela razão entre a área foliar ( $A_f$ ) e a matéria seca foliar ( $W_f$ ) apresentou valores mais elevados com a redução da densidade do fluxo luminoso, mas não foi afetada pela variação de doses de nitrogênio (Fig. 8). Resultados semelhantes foram também obtidos em alfafa e cornichão (Cooper 1966), feijão (Lopes et al. 1982) e soja (Melges 1983).

O aumento de  $S_A$ , com o sombreamento de le-

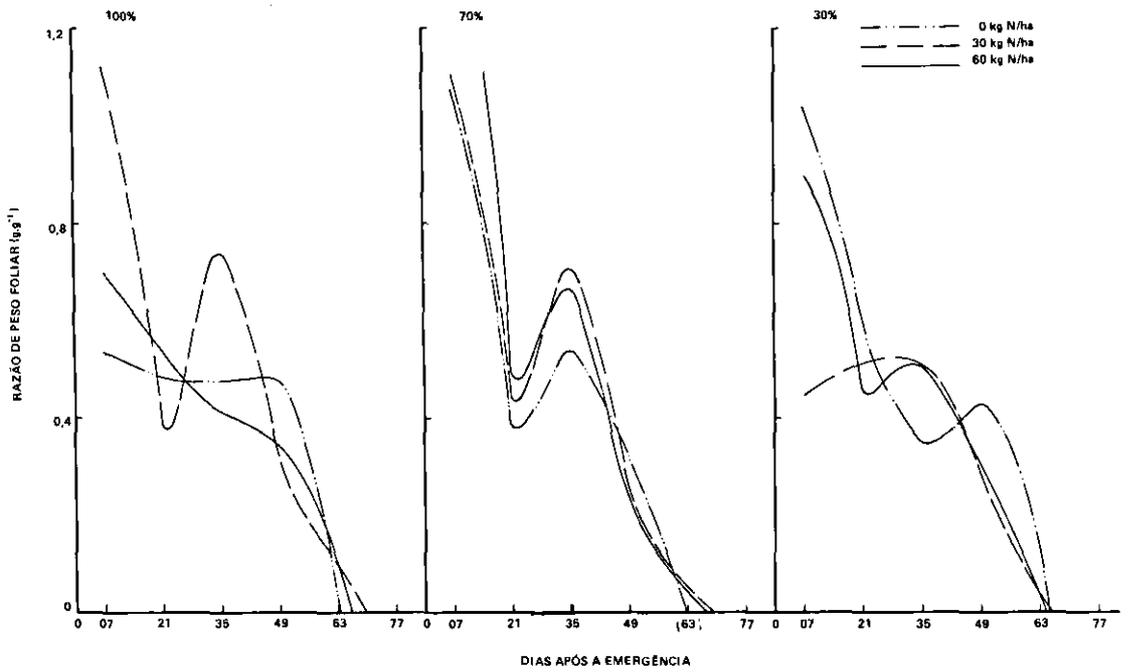


FIG. 7. Razão do peso foliar de plantas cultivadas sob três níveis de radiação solar e três doses de nitrogênio.

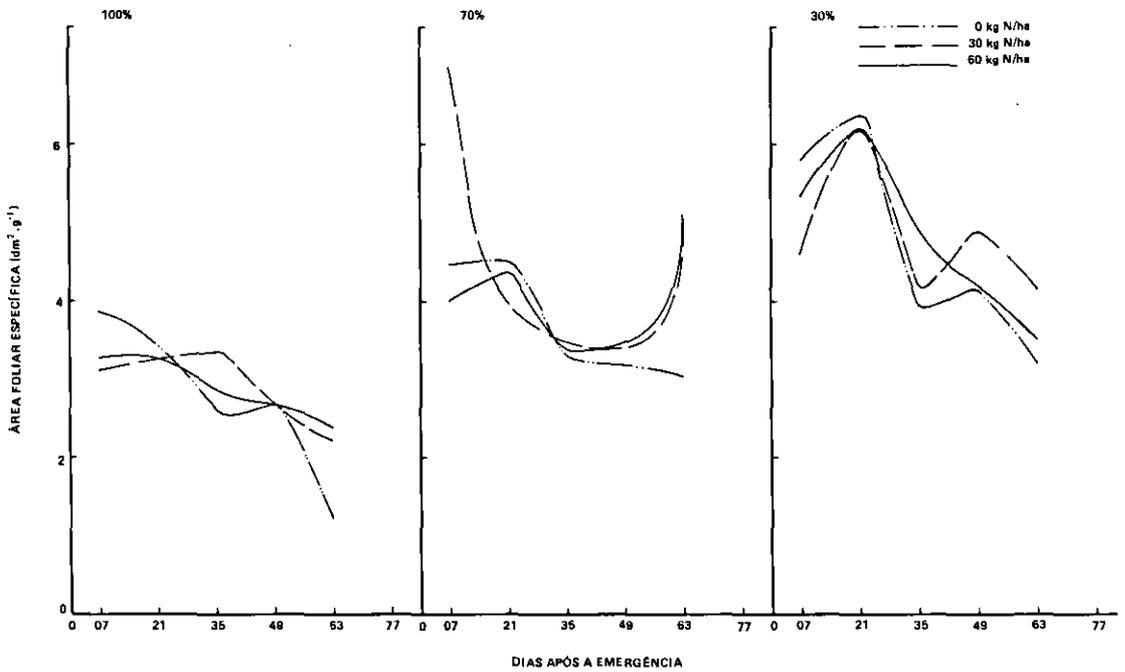


FIG. 8. Área foliar específica de plantas cultivadas sob três níveis de radiação solar e três doses de nitrogênio.

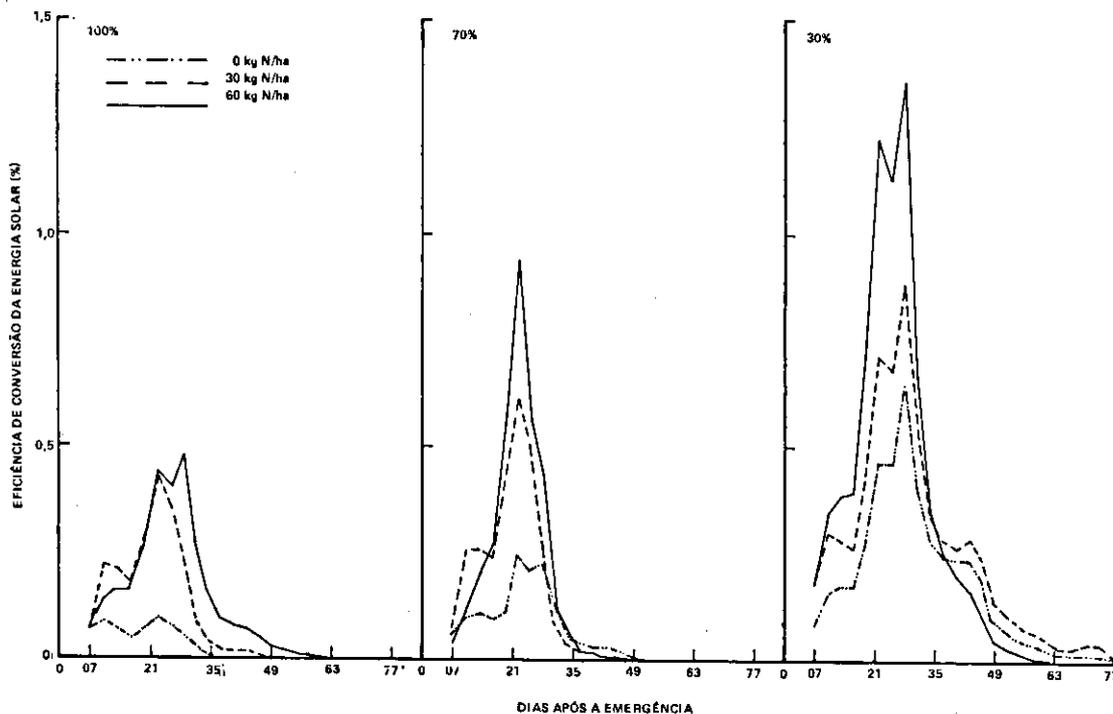


FIG. 9. Eficiência de conversão da energia solar de plantas cultivadas sob três níveis de radiação solar e três doses de nitrogênio.

guminosas, está associado com mudanças na morfologia da folha e no conteúdo de clorofila (Cooper & Qualls 1967). Esse aumento resulta do aumento da superfície das células do mesófilo por unidade de área foliar (Nobel et al. 1975), o que ocasiona alta razão superfície/volume dentro das folhas (Dornhoff & Shibles 1970). Tais modificações diminuem a resistência do mesófilo ao fluxo de  $\text{CO}_2$  (Nobel et al. 1975), o que pode levar a maiores taxas fotossintéticas (Pearce et al. 1969, Dornhoff & Shibles 1970). Assim, o aumento de  $S_A$  pode ser um mecanismo adaptativo.

O decréscimo de  $S_A$  durante o crescimento indica que as folhas não se expandem às mesmas taxas, quando o crescimento progride (Scott & Batchelor 1979). O valor máximo de  $S_A$  obtido no nível de 100% de radiação, no 35º dia após a emergência das plantas, foi de  $3,4 \text{ dm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ . Em experimento de campo, com feijoeiro, Jones (1971) obteve valores de  $S_A$  entre  $1,5$  e  $3,5 \text{ dm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ , compatíveis com os do presente experimento. Em condições de casa-de-vegetação, no entanto, esse autor encontrou valores elevados para  $S_A$  ( $8,5 \text{ dm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ).

Os valores da eficiência de conversão da energia solar ( $\xi$ ) estão representados na Fig. 9. Houve um

aumento de  $\xi$  com a redução da radiação solar, associado ao incremento da adubação nitrogenada. Resultados semelhantes de  $\xi$  foram obtidos com feijão (Lopes et al. 1982) e soja (Melges 1983). Os valores médios de  $\xi$  foram de 0,04%; 0,13% e 0,14% a 100%, 0,08%; 0,19% e 0,24% a 70% e 0,20%; 0,27% e 0,43% a 30% de radiação, em ordem crescente de doses de nitrogênio. O valor máximo de  $\xi$  foi de 1,4%, obtido no nível de 30% de radiação solar incidente, associado a 60 kg/ha de N.

Trabalhando com feijão (*P. vulgaris*) 'Rico 23' durante o período das águas, em Viçosa, MG, na densidade populacional de 250 mil sementes/ha, Brandes et al. (1973b) encontraram um valor máximo de  $\xi$  em torno de 1,5%. Com o envelhecimento do tecido foliar, observou-se declínio na eficiência fotossintética. O aumento de  $\xi$  com o incremento das doses de nitrogênio aconteceu, provavelmente, em decorrência da maior eficiência fotossintética que proporcionou maiores valores de  $C_t$  (Fig. 1).

## CONCLUSÕES

1. O feijoeiro cv. 'Negrito 897' mostrou grande adaptação às condições experimentais, principal-

mente em virtude da grande plasticidade dos parâmetros de crescimento que envolvem a área foliar.

2. As taxas de produção de matéria seca, de crescimento relativo e assimilatória líquida aumentaram com o incremento da densidade do fluxo radiante e das doses de nitrogênio.

3. As altas doses de nitrogênio, associadas a baixos níveis de luz, reduziram a taxa de produção de matéria seca.

4. A área foliar aumentou com o sombreamento e com o incremento na dose de nitrogênio.

5. A taxa de crescimento relativo e a razão de área foliar decresceram com a ontogenia das plantas em todos os tratamentos.

6. A razão de área foliar e área foliar específica aumentaram com o sombreamento, mas não foram influenciadas pelas diferentes doses de nitrogênio.

7. As variações da razão de área foliar aconteceram, principalmente, em virtude dos valores da área foliar específica, pois praticamente, os níveis de luz e doses de nitrogênio não influenciaram a razão de peso foliar. A área foliar específica mostrou ser uma característica fisiológica plástica, ao passo que a razão de peso foliar, mostrou ser uma característica conservadora.

8. A eficiência da conversão da energia solar aumentou com a redução da radiação solar e incremento da adubação nitrogenada.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) o suporte financeiro a esta pesquisa.

#### REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A.A.F. Efeito da radiação solar e do nitrogênio sobre o crescimento, produção e composição química do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. **Negrilo 897**). Viçosa, UFV, 1985. 109 p. Tese Mestrado.
- ARAÚJO, G.A.A. **Crescimento das plantas e conversão da energia solar em sistemas de cultivos associados e exclusivos de milho e feijão**. Viçosa, UFV, 1983. 129p. Tese Doutorado.
- BLACKMAN, G.E. Influence of light and temperature on leaf growth. In: MILTHORPE, F.L., ed. **The growth of leaves**. London, Butterworths Scientific Publications, 1956. p.151-69.
- BRANDES, D.; MAESTRI, M.; VIEIRA, C.; GOMES, F.R. Efeitos da população de plantas e da época de plantio no crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). II. Análise de crescimento. **Experientiae**, 15(1):1-21, 1973a.
- BRANDES, D.; MAESTRI, M.; VIEIRA, C.; GOMES, F.R. Efeitos da população de plantas e da época de plantio no crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). III. Interceptação de luz e eficiência de conversão de energia solar. **Experientiae**, 15(1):22-30, 1973b.
- BROUGHAM, R.W. Effect of intensity of defoliation on re-growth of pasture. **Aust. J. Agric. Res.**, 7:377-87, 1956.
- BUTTERY, B.R. An analysis of the growth of soybeans as affected by plant population and fertilizer. **Can. J. Plant Sci.**, 49:675-84, 1969.
- BUTTERY, B.R. & BUZZELL, R.I. Some differences between soybean cultivars observed by growth analysis. **Can. J. Plant Sci.**, 52:13-20, 1972.
- CARDOSO, M.J. **Crescimento das plantas de milho e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em dois sistemas de associação**. Viçosa, UFV, 1985. 132p. Tese Doutorado.
- CHAN, W. & MACKENZIE, A.F. Effects of shading and nitrogen on growth of corn (*Zea mays* L.) under field conditions. **Plant Soil**, 36:59-70, 1972.
- CHERNAVSKAYA, N.M. & NICHIPOROVICH, A.A. Harmonious combination of illumination and nitrogen nutrition. In: NICHIPOROVICH, A.A., ed. **Photosynthesis of productive systems**. s.l., Academy of Science of the USSR, 1966. p.136-43.
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL, Cali, Colômbia. **Annual report 1977**. Cali, 1978. p.893.
- COOPER, C.S. Response of birdsfoot trefoil and alfalfa to various levels of shade. **Crop Sci.**, 6:63-6, 1966.
- COOPER, C.S. & QUALLS, M. Morphology and chlorophyll content of shade and sun leaves of two legumes. **Crop Sci.**, 7:672-3, 1967.
- DORNHOFF, G.M. & SHIBLES, R.M. Varietal differences in net photosynthesis of soybean leaves. **Crop Sci.**, 10:42-5, 1970.
- FRANCO, A.A.; PEREIRA, J.C.; NEYRA, C.A. Seasonal patterns of nitrate reductase and nitrogenase activities in *Phaseolus vulgaris* L. **Plant Physiol.**, 63:421-4, 1979.
- JONES, L.H. Adaptive responses to temperature in dwarf french beans, *Phaseolus vulgaris* L. **Ann. Bot.**, 36:581-96, 1971.
- KNECHT, G.N. & O'LEARY, J.W. The effect of light intensity on stomat number and density of *Phaseolus vulgaris* L. leaves. **Bot. Gaz.**, 133:132-4, 1972.
- KÖLLER, H.R.; NYQUIST, W.E.; CHORUSH, I.S. Growth analysis of the soybean community. **Crop Sci.**, 10:407-12, 1970.
- KVET, J.; ONDOCK, J.P.; NECAS, J.; JARVIS, P.G. Methods of growth analysis. ŠESTAK, Z.; CATSKY, J.; JARVIS, P.G., ed. **Plant photosynthetic production; manual of methods**. Haia, W. Junk M.V., 1971. p.343-91.
- LOPES, N.F.; OLIVA, M.A.; FREITAS, J.G.; MELGES,

- E.; BELTRÃO, N.E.M. Análise de crescimento e conversão da energia solar em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) submetido a três níveis de densidade do fluxo radiante. **R. Ceres**, **29**(166):586-606, 1982.
- MAGALHÃES, A.C. & MONTOJOS, J.C. Effect of solar radiation on the growth parameters and yield of two varieties of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Turrialba**, **21**:165-8, 1971.
- MELGES, E. **Crescimento, conversão da energia solar e nodulação da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) sob quatro níveis de radiação solar, em Viçosa, Minas Gerais**. Viçosa, UFV, 1983. 78p. Tese Mestrado.
- MILTHORPE, F.L. & MOORBY, J. **An introduction to crop physiology**. London, Cambridge University Press, 1974. 202p.
- MURATA, Y. Physiological responses to nitrogen in plants. In: EASTIN, J.D.; HASKINS, F.A.; SULLIVAN, C.Y. & BAVEL, C.H.M. van, ed. **Physiological aspects of crop yield**. Madison, s.ed., 1969. p.235-63.
- NOBEL, P.S.; ZARAGOZA, L.J.; SMITH, W.K. Relation between mesophyll surface area, photosynthetic rate, and illumination level during development of *Plectranthus parviflorus* Henckel. **Plant Physiol.**, **55**:1067-70, 1975.
- PEARCE, R.B.; CARLSON, G.E.; BARNES, D.K.; HART, R.H.; HANSON, C.H. Specific leaf weight and photosynthesis in alfalfa. **Crop Sci.**, **9**:423-6, 1969.
- RADFORD, R.J. Growth analysis formulae: their use and abuse. **Crop Sci.**, **7**:171-5, 1967.
- RICHARDS, F.J. The quantitative analysis of growth. In: STEWARD, F.C., ed. **Plant Physiology; a treatise**. New York, Academic, 1969. p.3-76.
- ROCHA, H.M.; ALVIM, P. de T.; DOBEREINER, J. Influência da intensidade da radiação solar sobre o crescimento e a fixação simbiótica do nitrogênio pela soja. **Turrialba**, **20**:293-8, 1970.
- SCOTT, H.D. & BATCHELOR, J.T. Dry weight and leaf area production rates of irrigated determinate soybeans. **Agron. J.**, **71**:776-82, 1979.
- SWANSON, C.A. & HODDINOTT, J. Effect of light and ontogenetic stage in sink strength in bean leaves. **Plant Physiol.**, **62**:454-7, 1978.
- WALLACE, D.H. & MUNGER, H.M. Studies of the physiological basis of yield differences. I. Growth analysis of six dry bean varieties. **Crop Sci.**, **5**:343-8, 1965.
- WAREING, P.F. & PATRICK, J. Source-sink relations and the partition of assimilates in the plant. In: COOPER, J.P., ed. **Photosynthesis and productivity in different environments**. London, Cambridge University Press, 1975. p.481-99.
- WHITEHEAD, F.H. & MYERSCOUGH, P.J. Growth analysis of plants. The ratio of mean relative growth rate to mean relative rate of leaf area increase. **New Phytol.**, **61**:314-21, 1962.
- WILLIAMS, R.F. The physiology of plant growth with special reference to the concept of net assimilations rate. **Ann. Bot.**, **10**:41-72, 1946.