

# CRESCIMENTO E CONVERSÃO DA ENERGIA SOLAR EM *Phaseolus vulgaris* L. SUBMETIDO A TRÊS DENSIDADES DE FLUXO RADIANTE E DOIS REGIMES HÍDRICOS<sup>1)</sup>

Nei Fernandes Lopes <sup>2)</sup>  
Marco Antonio Oliva <sup>2)</sup>  
Milton José Cardoso <sup>3)</sup>  
Maria Mercês Souza Gomes <sup>2)</sup>  
Victor Ferreira de Souza <sup>4)</sup>

## 1. INTRODUÇÃO

O sombreamento exerce influência sobre processos fisiológicos, principalmente nas taxas fotossintética, respiratória, fotorrespiratória e transpiratória. Esses processos básicos influenciam o acúmulo de matéria seca, que depende do índice de área foliar, da duração de área foliar, da taxa assimilatória e da taxa de crescimento relativo (33). Já a limitação da fotossíntese sob estresse hídrico é resultado tanto da redução do crescimento foliar como da inibição da atividade fotossintética, causada pelo fechamento dos estômatos (3).

O sombreamento artificial e o estresse hídrico foram aplicados na tentativa de simular as condições do feijoeiro em consórcio cultural na época da «seca». Considerando que o feijoeiro é uma planta bastante sensível à competição por fatores edafoclimáticos, este trabalho teve a finalidade de estudar os efeitos da combina-

---

<sup>1)</sup> Aceito para publicação em 28-11-1985.

<sup>2)</sup> Departamento de Biologia Vegetal da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

<sup>3)</sup> Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual de Teresina.  
EMBRAPA. 64000 Teresina, PI.

<sup>4)</sup> Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual de Porto Velho.  
EMBRAPA. 78900 Porto Velho, RO.

ção de níveis de luz e de água sobre o crescimento e conversão da energia solar do cultivar 'Negrito-897'.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em Viçosa, no período de 28 de agosto a 14 de novembro de 1982, com plantas de *Phaseolus vulgaris* L., cv. 'Negrito 897'.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em parcelas subsubdivididas, com três repetições. Cada parcela correspondia a uma época de coleta do material vegetal e era constituída de três subparcelas, correspondentes a diferentes níveis de densidade de fluxo radiante (100, 62 e 30% da radiação solar incidente dentro da casa de vegetação). Cada subparcela era formada de duas subsubparcelas, que consistiram em dois regimes hídricos: um próximo da capacidade de campo ( $= -0,03$  MPa) e estresse hídrico ( $= -1,0$  MPa).

A unidade experimental constou de um vaso plástico, com 4,0 kg de solo e 20% de umidade (~ capacidade de campo), adubado com 50 ppm de N, 200 ppm de P, 70 ppm de K, na forma de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente, e 3,5 t.  $\text{ha}^{-1}$  de calcário dolomítico e semeado com cinco sementes de feijão. Três dias após a emergência foram selecionadas as duas plantas mais uniformes, que constituíram o material para as análises correspondentes. Todos os vasos foram mantidos com teor de umidade próximo da capacidade de campo até o oitavo dia após a emergência, idade a partir da qual teve início a indução do déficit hídrico. A capacidade de campo foi determinada gravimetricamente e o estresse hídrico correspondeu a 50% da quantidade de água colocada na capacidade de campo.

O sombreamento artificial foi obtido com telas de náilon de cor verde, com pequeno efeito sobre a qualidade espectral da luz transmitida, propiciando, assim, níveis de sombreamento de 70 e 38% da radiação solar total incidente dentro da casa de vegetação.

As coletas foram efetuadas com intervalos regulares de 10 dias, durante todo o ciclo da cultura, num total de oito coletas, a primeira realizada 10 dias após a emergência. Em cada coleta, as plantas foram cortadas rente ao solo e o sistema radicular foi lavado sobre peneira, até a extinção total do solo aderente. A matéria seca foi obtida em estufa de ventilação forçada, à temperatura de 75°C. A área foliar foi determinada por meio de um medidor de área portátil LI-COR, 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 (26) foram ajustadas por meio de 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;  $t$ , o tempo, em dias; e  $B$  e  $C$ , constantes de ajustamentos. Regressão curvilinear das médias de  $A_f$  acumulada em cada coleta foi efetuada com o emprego de polinômios ortogonais. Procurou-se chegar ao polinômio que melhor se ajustasse aos valores primários de  $A_f$ , de acordo com o proposto por RICHARDS (26).

Para determinar os valores instantâneos da taxa de produção de matéria seca ( $C_t$ ), empregou-se a derivada da equação ajustada da matéria seca total ( $W_t$ ), em relação ao tempo (25, 26).

Os valores instantâneos da taxa de crescimento relativo ( $R_W$ ) e da taxa de crescimento relativo de área foliar ( $R_A$ ) foram obtidos pelas fórmulas  $R_W = C_t/W_t$

e  $R_A = C_A/A_f$ . Para calcular 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 ( $SA$ ) foram determinadas a partir dos valores instantâneos de  $A_f$ ,  $W_f$  e  $W_t$ , empregados nas equações  $F_A = A_f/W_t$ ,  $F_W = W_f/W_t$  e  $SA = A_f/W_f$ , conforme o proposto por RADFORD (25).

Os valores instantâneos da eficiência na conversão da energia solar ( $\xi$ ) foram determinados a partir da equação  $\xi\% = (100 C_t \delta)/R_a$ , na qual  $R_a$  representa o valor médio diário da radiação solar total incidente no topo do dossel do feijoeiro, registrada nos cinco dias anteriores ao  $C_t$  correspondente. O valor calorífico ( $\delta$ ) utilizado foi de 4000 cal.g<sup>-1</sup>, segundo as determinações realizadas por Pflanz (1964), citado por KVET *et alii* (15).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O acúmulo de matéria seca total ( $W_t$ ) diminuiu com a redução do nível de luz (Figura 1), embora, com a ontogenia, as plantas submetidas a 62% de fluxo radiano tendessem a se igualar às não-sombreadas. Esse resultado mostra a capacidade de adaptação do feijoeiro ao sombreamento pelo abaixamento dos pontos de compensação e de saturação luminosa (4, 5, 29). Sabe-se que os níveis necessários para a saturação luminosa podem mudar para a mesma espécie, se crescida em diferentes densidades de fluxo radiante.

As diferenças de  $W_t$  entre plantas não-sombreadas e plantas apenas com 30% de luz aumentaram com a ontogenia do feijoeiro. Essa redução de luz provocou uma diminuição acentuada em  $W_t$  no final do experimento, visto estar esse nível de luz aquém do ponto de saturação luminosa, ao que, certamente, impôs uma redução no processo fotossintético. Apesar de ser o rendimento econômico medido como produção de semente, e não como biomassa, substancial produção de matéria seca é pré-requisito para o rendimento máximo de sementes (2, 19).

O sombreamento prolongou o ciclo vegetativo e alterou o hábito de crescimento das plantas de feijão. LOPES *et alii* (17) também observaram alterações de «tipo» num cultivar quando submetido ao sombreamento. Esse fato é atribuído à capacidade das plantas para prolongar o incremento em  $W_t$ , em virtude da grande plasticidade dessa leguminosa (17).

O estresse hídrico, em torno de -1,0 MPa, foi extremamente forte, principalmente se se considerar que foi imposto ininterruptamente. Com o desenvolvimento das plantas, entretanto, o sombreamento favoreceu o crescimento do feijoeiro sob tensão hídrica, certamente por diminuir a transpiração. Observou-se, nesse caso, uma inversão na capacidade de acúmulo de  $W_t$ , e as plantas não-sombreadas apresentaram menores quantidades de matéria seca com a ontogenia.

Os valores máximos da taxa de produção de matéria seca ( $C_t$ ) (Figura 2) foram 0,41, 0,56 e 0,51 g. vaso<sup>-1</sup>. dia<sup>-1</sup>, obtidos aos 36, 34 e 31 dias, e 0,11, 0,09 e 0,08 g.vaso<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>, aos 15, 24 e 30 dias, em ordem crescente de densidade do fluxo radiante, para as plantas na capacidade de campo e com estresse hídrico, respectivamente.

O déficit hídrico reduziu extremamente as taxas de produção de matéria seca em todos os tratamentos luminosos (Figura 2B). Esse decréscimo de  $C_t$  decorreu das reduções observadas tanto na taxa assimilatória líquida ( $E_A$ ) quanto na área foliar ( $A_f$ ), em razão da tensão hídrica, posto que  $C_t$ , para uma cultura, pode ser expressa como o produto de  $A_f$  pela  $E_A$ .

É interessante observar que, com o estresse hídrico, houve um encurtamento do ciclo vegetativo das plantas não-sombreadas. A redução do ciclo vegetativo

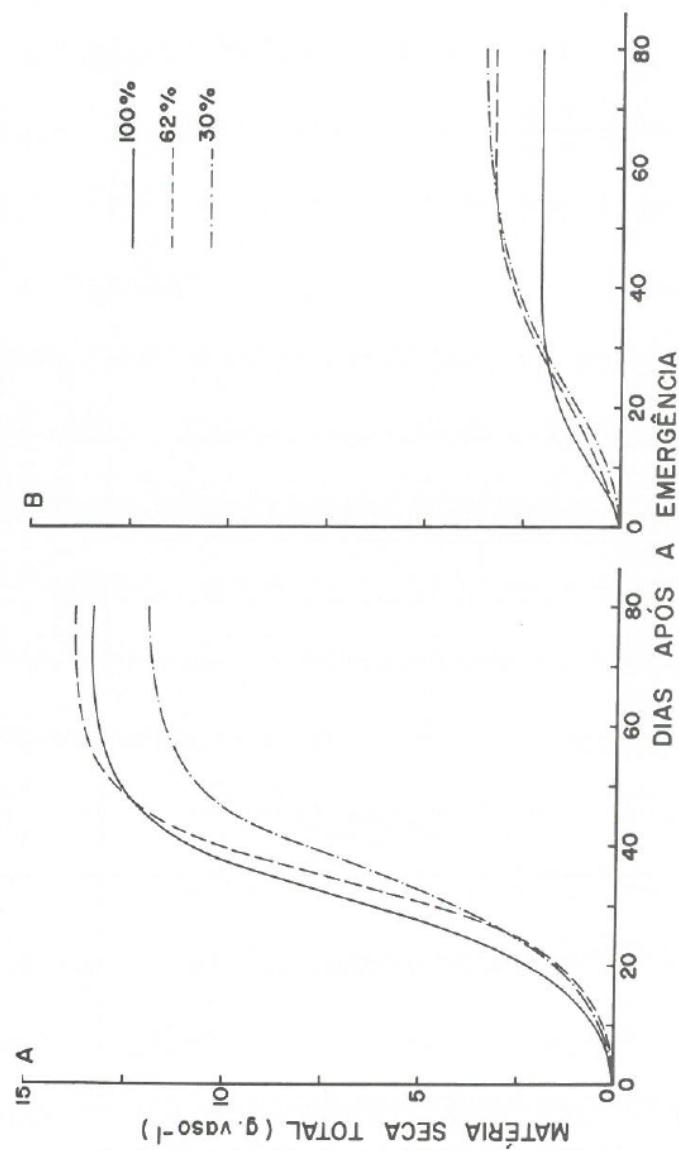


FIGURA 1 - Acúmulo de matéria seca total do feijoeiro, sob três níveis de luz e dois regimes hidráulicos. A - Capacidade de campo; B - Estresse hídrico.

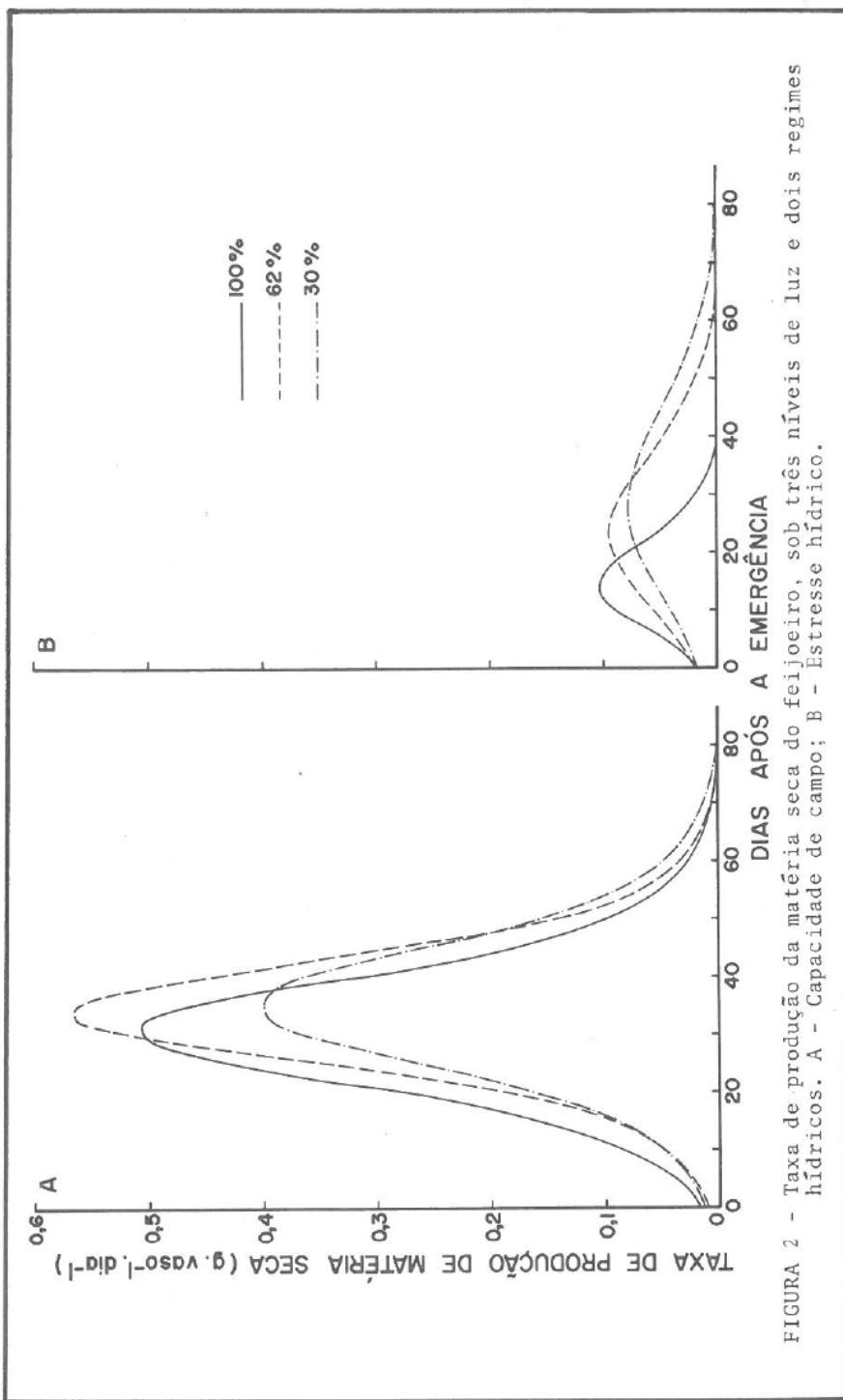


FIGURA 2 - Taxa de produção da matéria seca do feijoeiro, sob três níveis de luz e dois regimes hídricos. A - Capacidade de campo; B - Estresse hídrico.

sob déficit de água constitui um mecanismo de resistência da planta à seca por um desenvolvimento fenológico rápido ou maior plasticidade de desenvolvimento (13). O decréscimo de  $C_t$  nas plantas sob estresse hídrico foi de menor intensidade nas sombreadas, em comparação com as plantas em plena luz.

O sombreamento induziu, claramente, o aumento de  $A_f$  (Figura 3A), mostrando a tendência do feijoeiro em expandir a superfície foliar, para maximizar a interceptação e captura da luz disponível, sugerindo adaptação dessa cultura ao estresse luminoso.

O déficit hídrico reduziu sobremaneira a área foliar em todos os tratamentos luminosos (Figura 3B), sem, no entanto, modificar a tendência adaptativa das plantas, porquanto elas tiveram área foliar aumentada com o sombreamento.

Os principais fatores responsáveis pela produção de matéria seca são a área foliar, a taxa fotossintética, a taxa respiratória e a radiação solar incidente (21). A percentagem de interceptação, bem como a taxa de produção de matéria seca, aumenta, até certo ponto, com o desenvolvimento da área foliar. Uma vez que grandeza turgidez é necessária para a expansão foliar, os efeitos do déficit hídrico sobre a área foliar resultam, inicialmente, da redução da turgescência da folha (3).

O declínio de todas as curvas de  $A_f$  (Figura 3) ocorreu em torno dos 50 dias, fato também observado por LOPES *et alii* (17), que atribuíram a queda de  $A_f$  à taxa de senescência das folhas, sobrepondo-se à taxa de emissão de novas folhas (17).

A taxa assimilatória líquida ( $E_A$ ) (Figura 4) aumentou até atingir valores máximos de 44, 53 e 72 mg.dm<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, obtidos aos 23, 28 e 16 dias, e 22, 30 e 62 mg.dm<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, aos 20, 17 e 10 dias, em ordem crescente de fluxo radiante, para as plantas na capacidade de campo e submetidas ao déficit hídrico, respectivamente.

Além da redução de  $E_A$  com a ontogenia das plantas, evidenciada pela Figura 4A, nota-se que os maiores valores foram verificados nos níveis mais altos de radiação solar. Embora fosse superior nas plantas sombreadas (Figura 3),  $A_f$  não chegou a compensar, totalmente, o efeito de  $E_A$ . Esse decréscimo de  $E_A$ , relacionado com menores densidades de fluxo luminoso, foi observado em feijão (2, 17), em alfafa e cornichão (7) e em soja (19, 27).

O déficit hídrico reduziu ainda mais a taxa assimilatória líquida (Figura 4B), e a redução maior ocorreu no menor nível de luz. Esses resultados indicam decréscimo das taxas fotossintéticas líquidas, uma vez que  $E_A$  é um índice fisiológico estreitamente relacionado com a fotossíntese (11).  $E_A$  varia mais com a idade da planta do que com o clima (35). Entretanto, é fortemente reduzida em plantas sob estresse hídrico, retornando a valores normais quando o déficit hídrico é eliminado (35). Neste trabalho, o estresse hídrico aplicado ( $\approx -1,0$  MPa) foi severo e praticamente constante, não propiciando a volta de  $E_A$  a valores semelhantes aos das plantas turgidas. O feijoeiro apresenta baixa eficiência fotossintética e sua produção é drasticamente reduzida pelo estresse hídrico. Pelo que parece, espécies que apresentam alta eficiência fotossintética adaptam-se melhor a condições de seca (16).

O sombreamento induziu o aumento das taxas de crescimento de área foliar ( $C_A$ ) (Figura 5). Essa resposta evidencia a capacidade adaptativa do feijoeiro ao estresse hídrico. Na fase vegetativa,  $C_A$  aumentou em todos os níveis de luz, declinando, continuamente, com o aparecimento de estruturas reprodutoras, até o 50.º dia após a emergência. Após esse tempo,  $C_A$  atingiu valores negativos, o que indica a predominância da senescência e abscisão foliar sobre a produção de novas folhas. O déficit hídrico reduziu  $C_A$  drasticamente. O sombreamento, no entanto, diminuiu parcialmente o efeito do estresse de água. Inicialmente,  $C_A$  mostrou tendência de aumento até, aproximadamente, 25 dias após a emergência. Depois

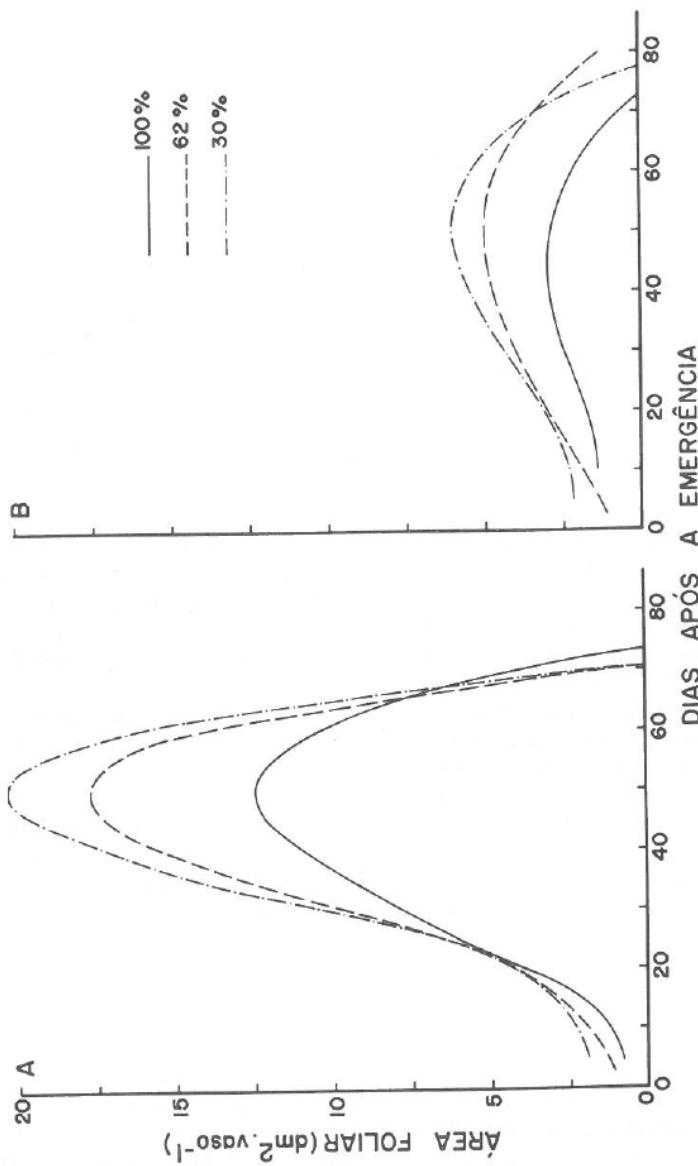


FIGURA 3 - Área foliar do feijoeiro sob três níveis de luz e dois regimes hídricos. A - Capacidade de campo; B - Estresse hídrico.

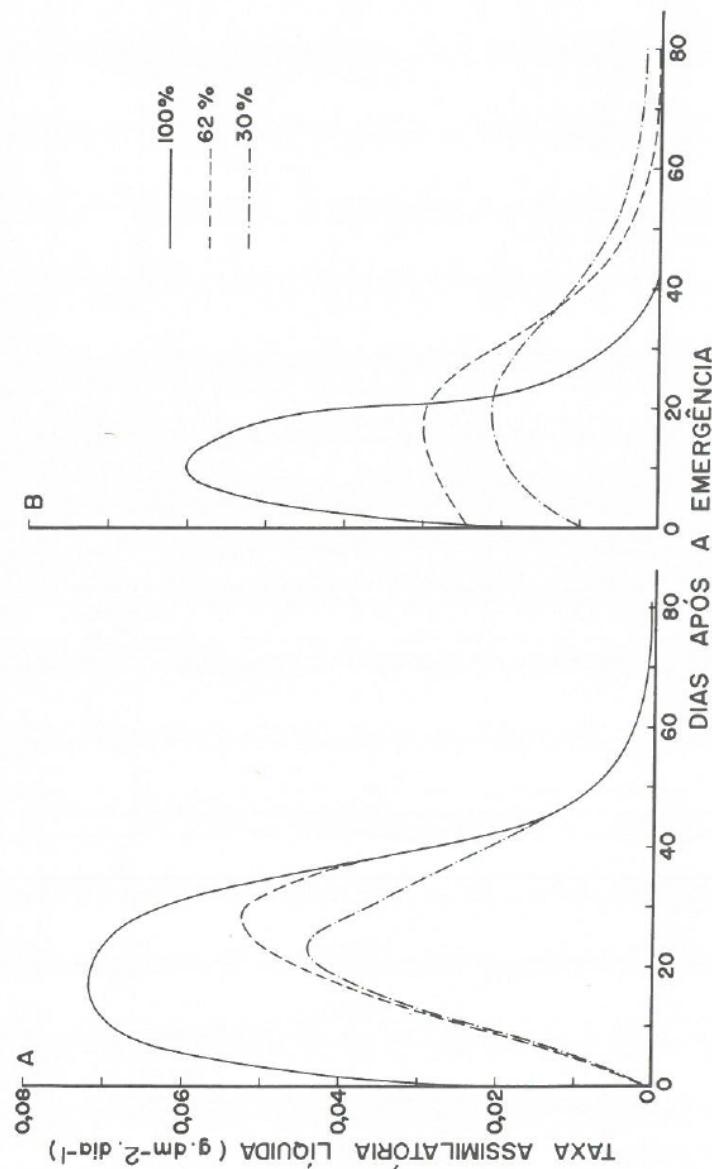


FIGURA 4 - Taxa assimilatória líquida do feijoeiro, sob três níveis de luz e dois regimes hídricos. A - Capacidade de campo; B - Estresse hídrico.

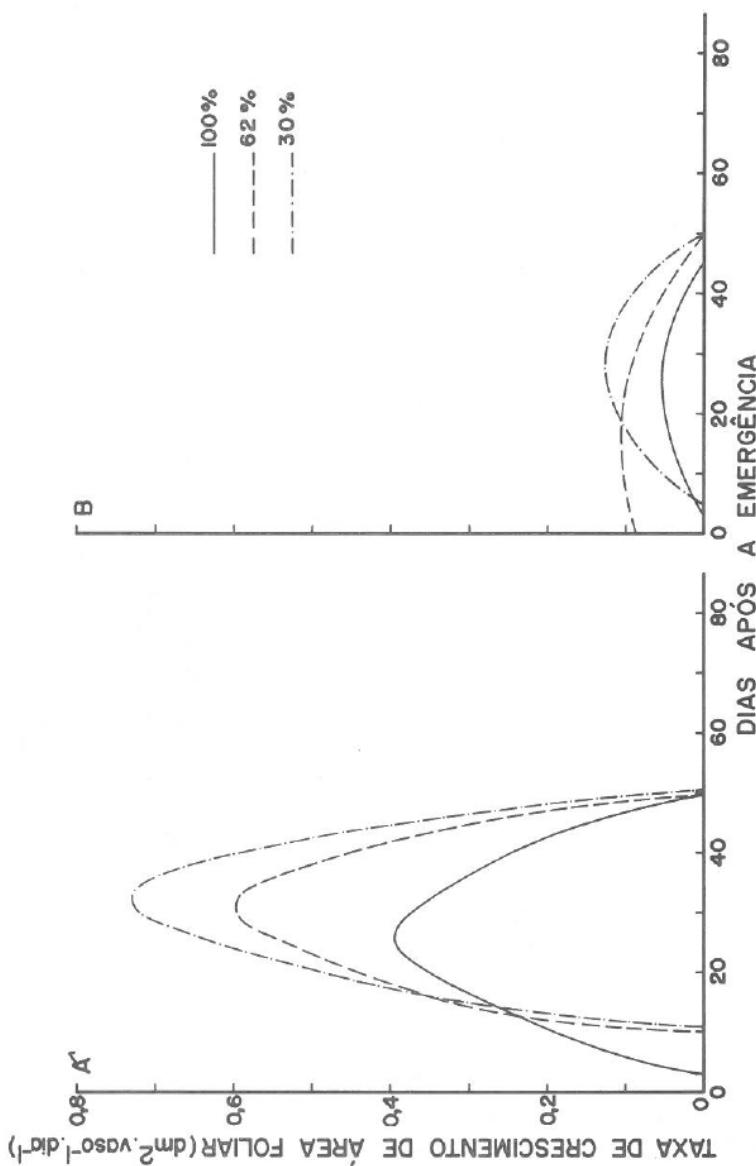


FIGURA 5 - Taxa de crescimento de área foliar do feijoeiro, sob três níveis de luz e dois regimes hidrícos. A - Capacidade de campo; B - Estresse hidrílico.

desse tempo, declinou lentamente, à medida que o déficit hídrico prosseguia, atingindo valores negativos aos 44 e 50 dias após a emergência, para plantas em plena luz e plantas sombreadas, respectivamente. Esse prolongamento de  $C_A$  por uma semana evidencia, mais uma vez, a redução do efeito deletério do estresse hídrico pelo sombreamento.

Nas plantas crescidas sob 62% de luz, a taxa de crescimento relativo ( $R_w$ ) foi sempre superior à das crescidas sob plena radiação (Figura 6A). Já as submetidas a 30% de luz apenas apresentaram  $R_w$  inferior ao das crescidas sob 100% de luz nos primeiros 25 dias, ultrapassando inclusive a  $R_w$  das plantas sob 62% de luz aos 37 dias após a emergência (Figura 6A). O sombreamento causou ligeiro aumento de  $R_w$ , fato previamente observado com o mesmo cultivar (17). Entretanto, em soja (19, 20), maiores níveis de radiação solar propiciam valores de  $R_w$  mais elevados.

O déficit hídrico reduziu consideravelmente  $R_w$ , independentemente do nível de luz (Figura 6B). Como foi severo e contínuo depois do oitavo dia, o estresse hídrico ( $\approx -1,0 \text{ MPa}$ ) aplicado provocou uma queda abrupta de  $R_w$  nas plantas em plena luz entre o décimo e o vigésimo dia após a emergência. O sombreamento, entretanto, diminuiu o efeito drástico do déficit hídrico, e o período de tempo relativo para a queda de  $R_w$  aumentou. A duração de  $R_w$  significativa foi de 40, 65 e 75 dias e 75, 70 e 75 dias, em ordem decrescente de radiação solar, nas plantas crescidas sob estresse hídrico e na capacidade de campo, respectivamente.

A forte tendência de decréscimo dos valores de  $R_w$  com a ontogenia das plantas, independentemente do sombreamento e do déficit hídrico, é resultado, em parte, do aumento gradativo de tecidos não assimilatórios (35).

A razão de área foliar ( $F_A$ ) (Figura 7), que representa o tamanho da superfície assimilatória, em relação à matéria seca total, aumentou com a redução do nível de luz em ambos os regimes hídricos. Tendências semelhantes foram observadas em plantas de feijão (17) e soja (27) quando submetidas a sombreamento.

O declínio observado nas curvas de  $F_A$  com a ontogenia, em todos os níveis de radiação, indica o aumento da queda de folhas e da redução da quantidade de assimilados para a produção de novas folhas (28). Tanto  $R_w$  como  $F_A$  decrescem à medida que as plantas envelhecem (16, 36), em virtude do aumento gradativo de tecidos não assimilatórios com a ontogenia das plantas (36).

A razão de peso foliar ( $F_w$ ) (Figura 8), que indica a quantidade de matéria seca acumulada nas folhas, em relação à biomassa, mostra, claramente, que, inicialmente, grande quantidade de fotoassimilados foi alocada nas folhas, principalmente nas plantas crescidas sob 62% de luz, que apresentaram maior  $F_w$ . Já no período de pré-florescimento essas tendências se confundiram. Na fase reprodutiva, após 40 dias, houve uma tendência de o  $F_w$  das plantas crescidas em plena luz suplantarem o das sombreadas (Figura 8A).

As plantas com estresse hídrico (Figura 8B) mostraram, inicialmente, tendência de queda nas curvas de  $F_w$ , tanto mais acentuada quanto maior o nível de luz. Da fase de pré-florescimento até o começo de enchimento de vagens,  $F_w$  aumentou nos dois maiores níveis de luz. Proporcionalmente, as plantas com déficit hídrico alocaram mais assimilados nas folhas.

A área foliar específica ( $S_A$ ) (Figura 9) aumentou com o sombreamento em ambos os regimes hídricos. O aumento de  $S_A$  nas plantas sombreadas evidencia, novamente, a capacidade de auto-ajustamento da planta para captação do máximo de energia solar para assimilação clorofílica. Esse aumento, que ocasiona mais alta razão superfície/volume dentro da folha (9), resultaria, provavelmente, numa redução da resistência do mesófilo ao fluxo de  $\text{CO}_2$  (23), possibilitando maiores taxas fotossintéticas (9, 24).

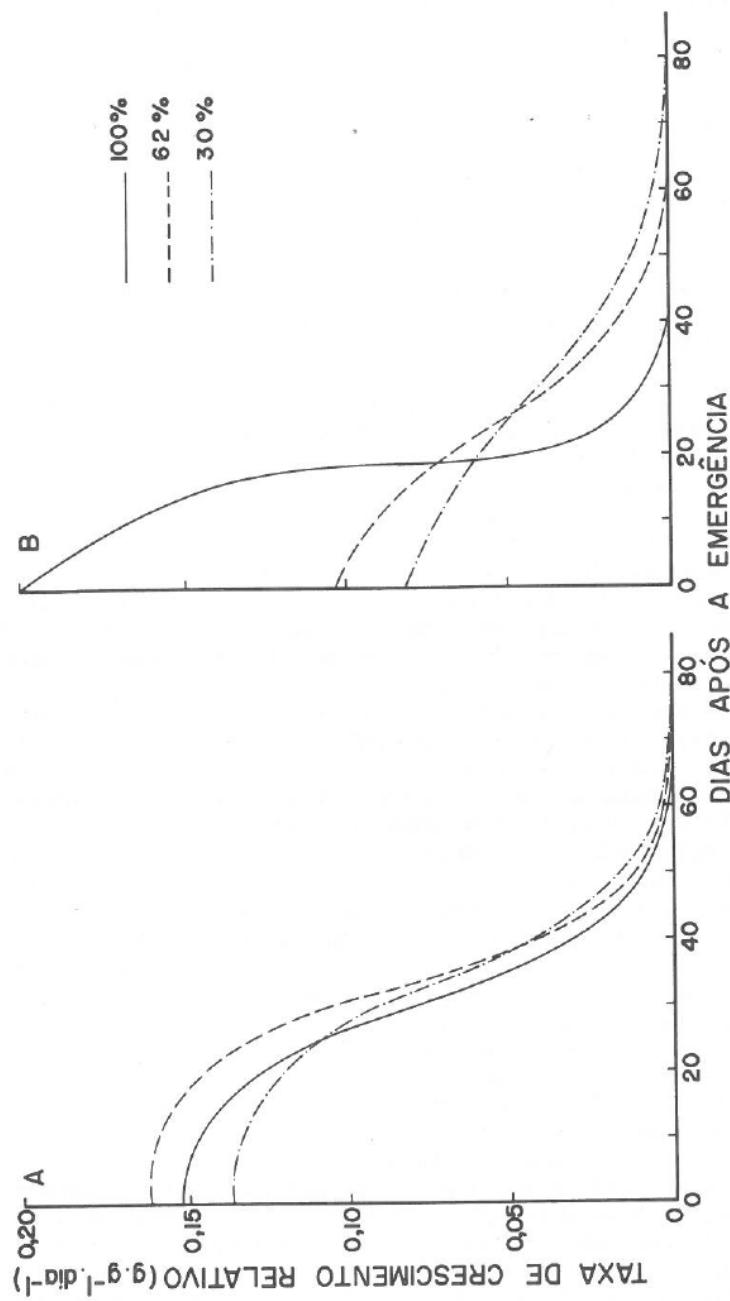


FIGURA 6 - Taxa de crescimento relativo do feijoeiro, sob três níveis de luz e dois regimes hídricos. A - Capacidade de campo; B - Estresse hídrico.

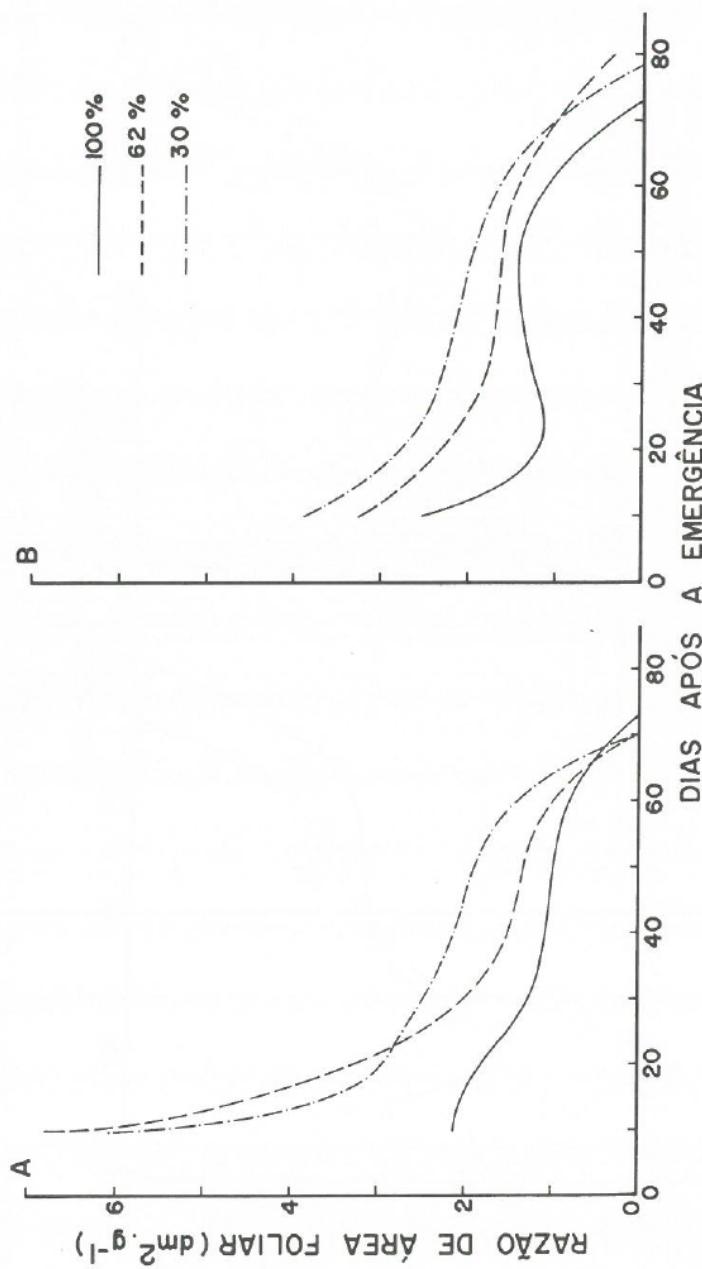


FIGURA 7 - Razão de área foliar do feijoeiro, sob três níveis de luz e dois regimes hídricos.  
 A - Capacidade de campo; B - Estresse hídrico.

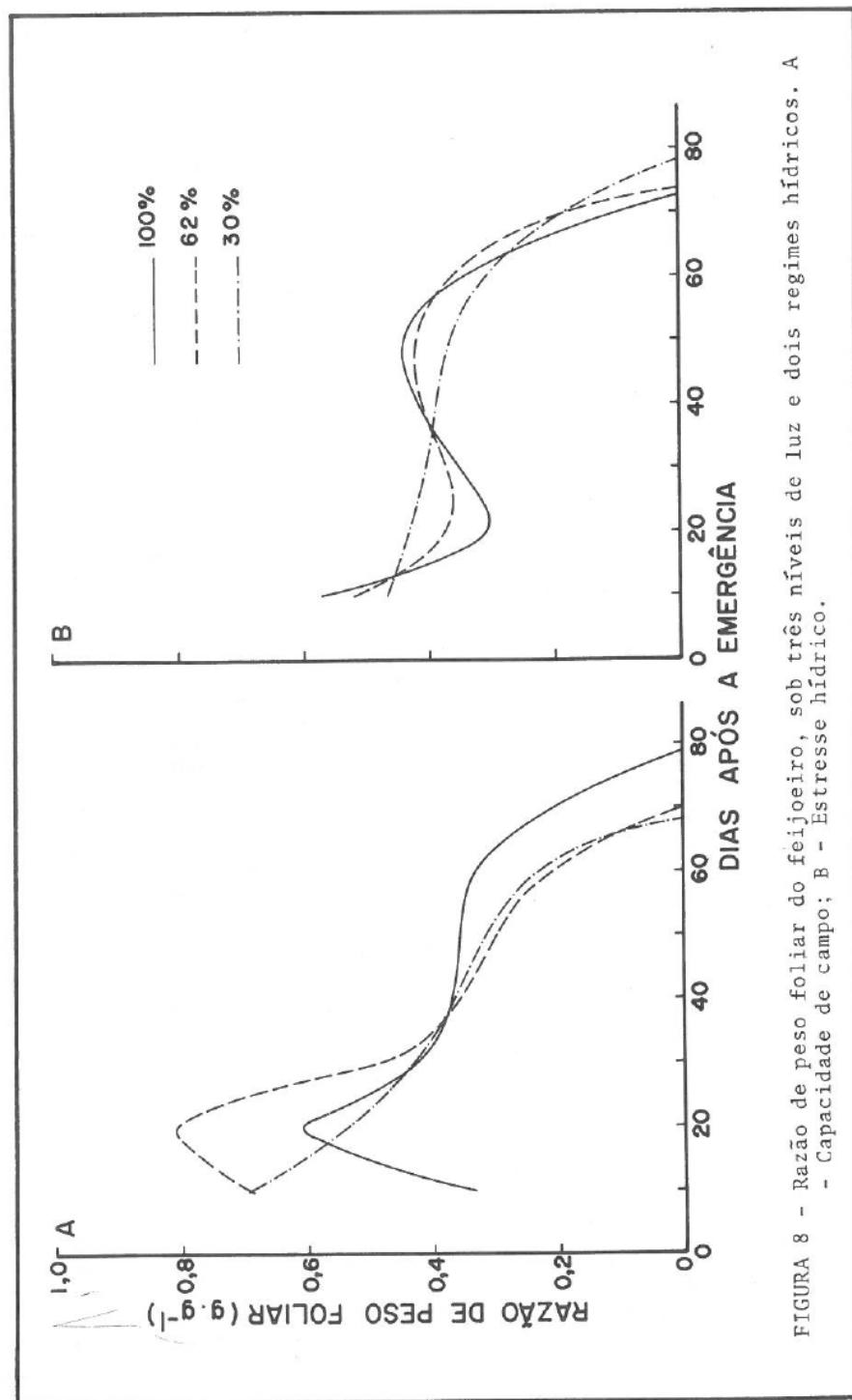


FIGURA 8 - Razão de peso foliar do feijoeiro, sob três níveis de luz e dois regimes hídricos. A - Capacidade de campo; B - Estresse hídrico.

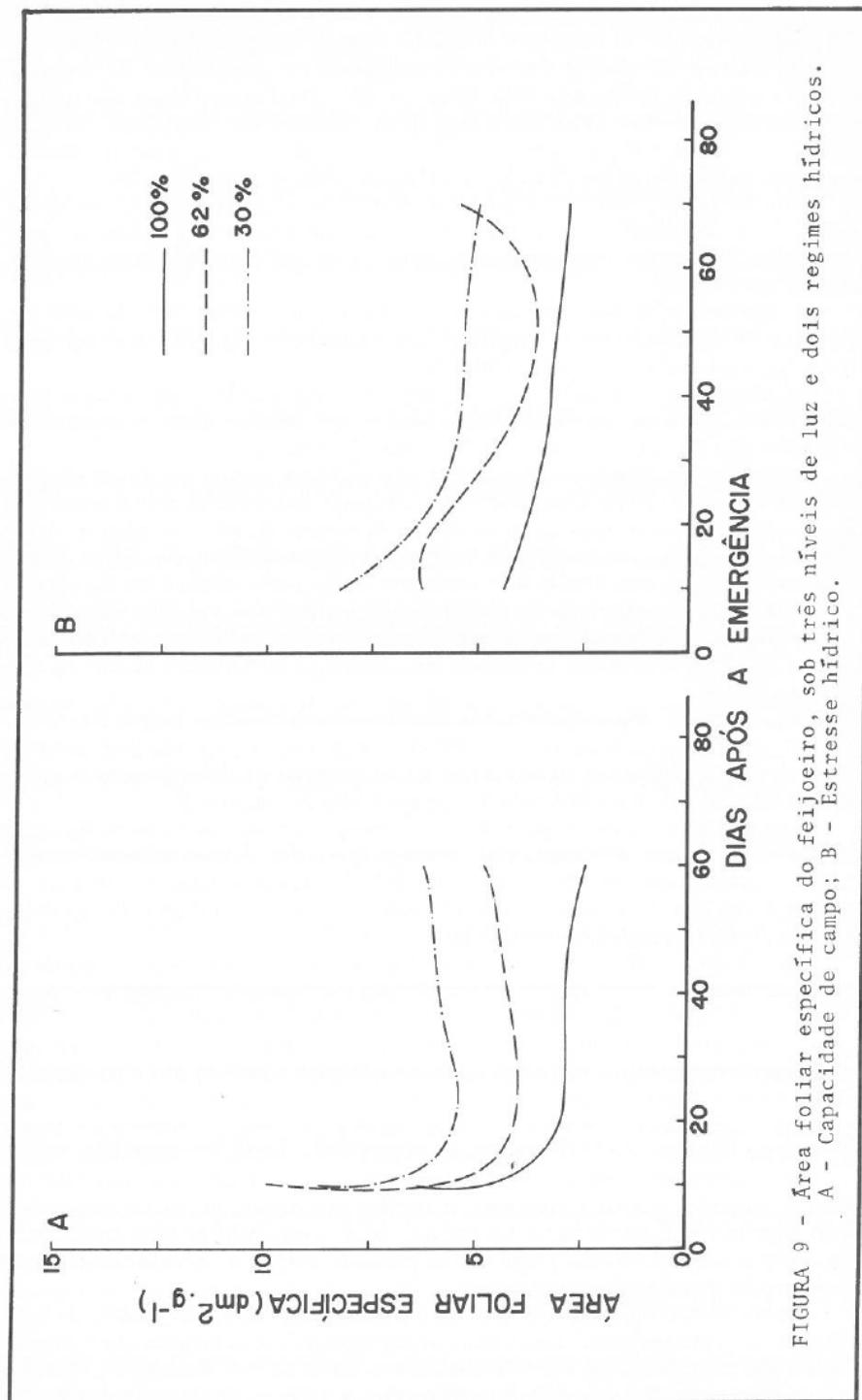


FIGURA 9 - Área foliar específica do feijoeiro, sob três níveis de luz e dois regimes hídricos.  
A - Capacidade de campo; B - Estresse hídrico.

As plantas crescidas sob plena radiação e sob estresse hídrico apresentaram maiores  $S_A$  do que as plantas sem déficit hídrico, no mesmo nível de luz. Embora as plantas estressadas tenham sofrido grande redução na taxa de expansão foliar, o acúmulo de matéria seca foliar foi mais drasticamente afetado que  $A_f$ . Com o sombreamento, entretanto, as plantas mantidas na capacidade de campo mostraram maiores  $S_A$  do que as estressadas. Pelo que parece, o sombreamento, em parte, diminui o efeito do déficit hídrico, por reduzir a transpiração.

Uma das adaptações morfofisiológicas apresentadas pelas plantas ao déficit hídrico é a sensibilidade à expansão e, em grau mais avançado, a queda ou morte das folhas, que limita a superfície evaporativa e retarda o desenvolvimento de futuros estresses (32).

O decréscimo de  $S_A$  durante a ontogenia, independentemente do sombreamento e do estresse hídrico, evidencia que a expansão das folhas não ocorre às mesmas taxas durante o crescimento (28).

As diferenças ocorridas em  $F_A$ , nos diversos tratamentos, foram devidas, principalmente, às variações em  $S_A$ , que mostrou ser característica de crescimento mais plástica do que  $F_W$ , característica mais conservadora.

As maiores resistências estomáticas ( $R_S$ ) abaxiais (Figura 10) foram alcançadas pelas plantas estressadas, ocorrendo, também, uma tendência de aumento em  $R_S$  abaxial com a redução do nível de luz. Enquanto  $R_S$  adaxial (Figura 11) aumentou com o sombreamento, em ambos os regimes hídricos, o estresse hídrico não teve efeito preponderante de incremento de  $R_S$ , como ocorreu em  $R_S$  abaxial. A  $R_S$  adaxial apresentada pelas plantas foi bem maior que a abaxial em todos os tratamentos. Obviamente, isso se deve às próprias características genéticas do feijoeiro, que apresenta maior densidade estomática na face abaxial do que na adaxial (14, 18-34).

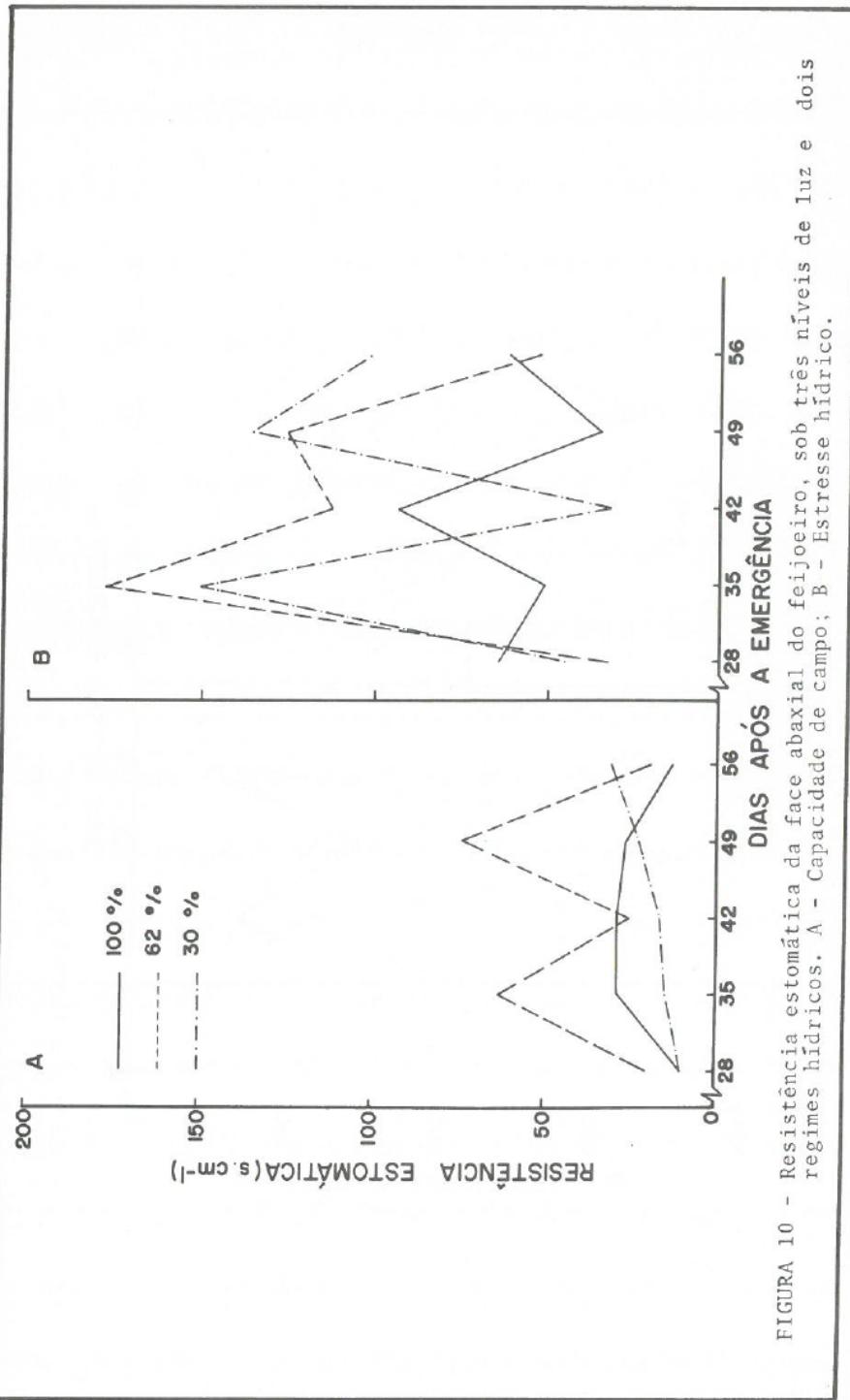
O aumento da resistência estomática com o sombreamento parece relacionar-se com a redução da densidade dos estômatos (1, 6, 8), ocasionada pelo aumento da área foliar (Figura 4A), uma vez que o número total e a diferenciação dos estômatos não são influenciados pela densidade do fluxo radiante (6).

Com o déficit hídrico (Figura 4B), observou-se, também, aumento de  $R_S$  com o sombreamento, que, de modo geral, foi maior que o das plantas na capacidade de campo. Esses resultados são confirmados pela literatura pertinente, posto que há consenso em que, quanto maior o déficit hídrico, maior a quantidade de luz necessária à abertura dos estômatos (12, 31).

Apesar de o comportamento estomático ser influenciado pela densidade do fluxo de radiação incidente (10, 22), em deficiência hídrica o principal fator condicionante do mecanismo estomático é o conteúdo hídrico das folhas (30). Por outro lado, o conteúdo de água das folhas (30) é dependente do solo, e ocorre uma redução correspondente no potencial hídrico da folha à medida que o potencial hídrico do solo decresce. Isso resulta em decréscimo na abertura estomática, o que conduz a diminuições na taxa de transpiração e, em maior intensidade e importância, na absorção de  $\text{CO}_2$ , reduzindo, consequentemente, a fotossíntese (20).

O aumento da resistência estomática, bem como a redução da área foliar (Figura 4), significa que os decréscimos induzidos pelo déficit hídrico na fotossíntese não somente reduzem o total de matéria seca acumulada pelas plantas, como também representam uma perda potencialmente grande de fotoassimilados para a produção de sementes no feijoeiro.

As eficiências máximas na conversão da energia solar ( $\xi$ ) das plantas de feijão (Figura 12A) aumentaram com a redução do nível de luz, indicando que o feijoeiro apresenta mecanismo de auto-ajustamento a níveis de luz. Entretanto, foram severamente reduzidas pelo déficit hídrico (Figura 12B). As curvas de  $\xi$  mostraram-



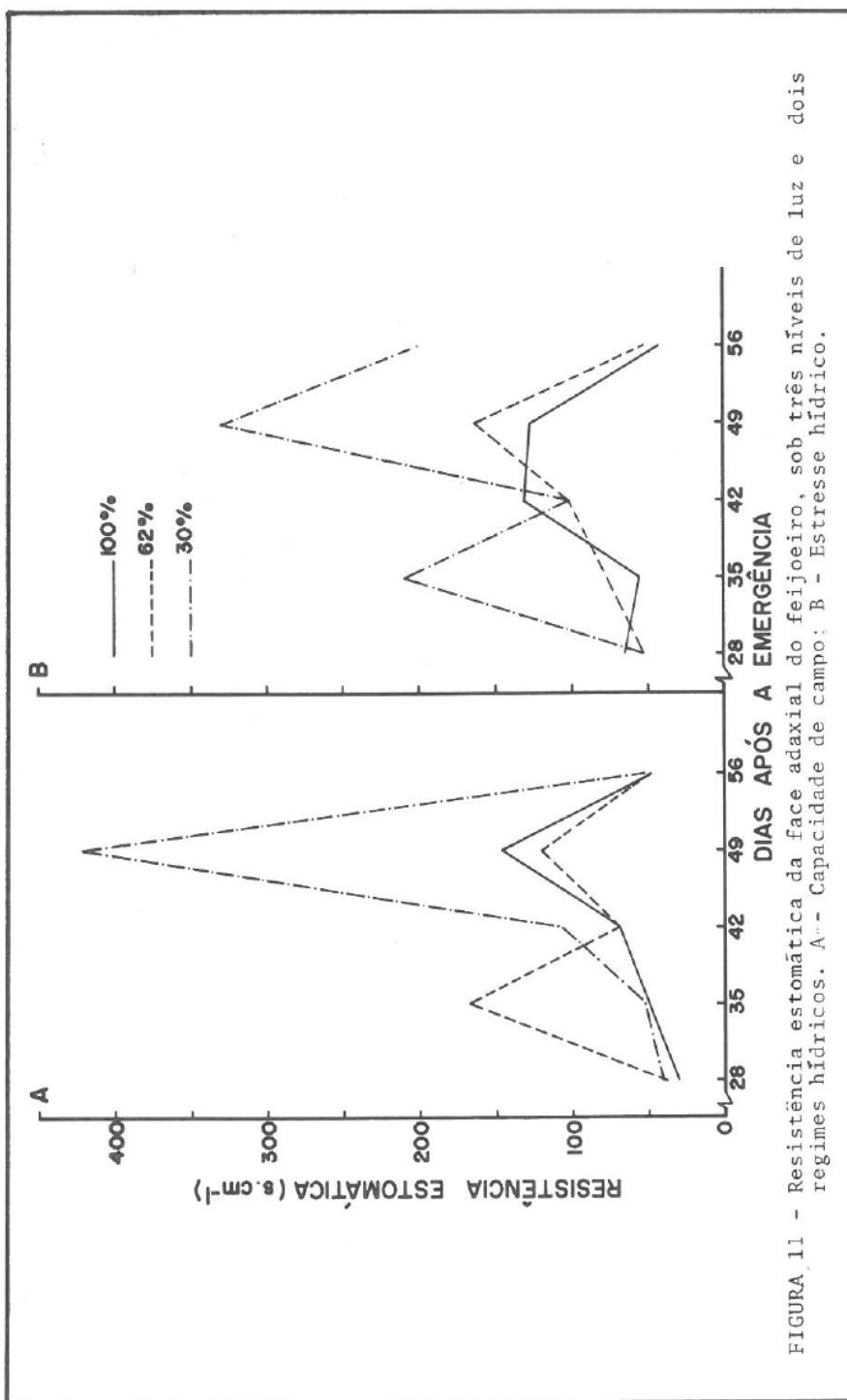


FIGURA 11 - Resistência estomática da face adaxial do feijoeiro, sob três níveis de luz e dois regimes hidrícos. A - Capacidade de campo; B - Estresse hidrílico.

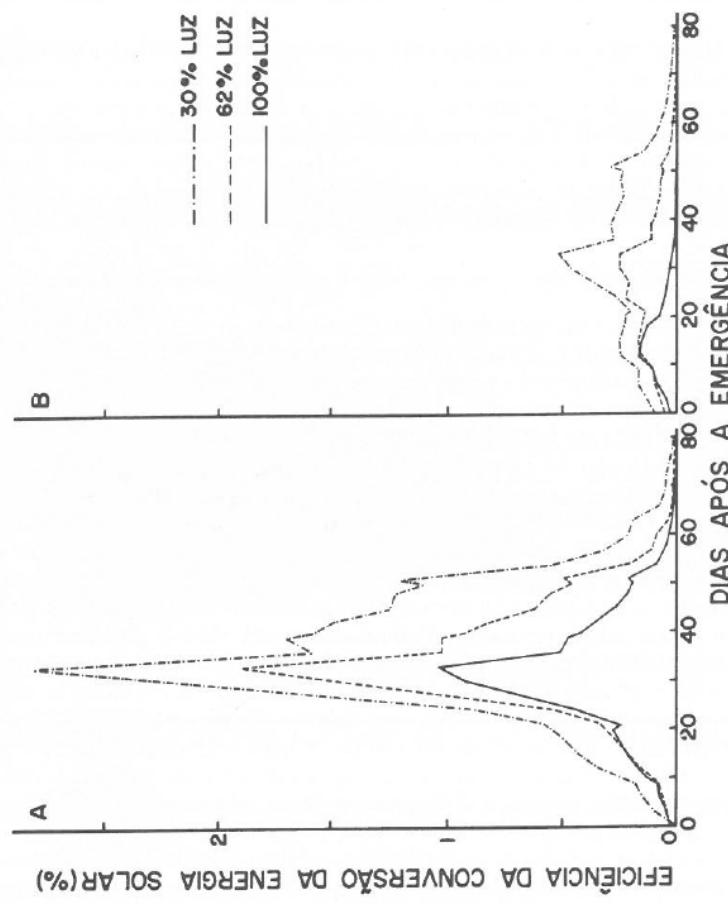


FIGURA 12 - Eficiência da conversão de energia solar do feijoeiro, sob três níveis de luz e dois regimes hídricos. A - Capacidade de campo; B - Estresse hídrico.

se irregulares, possivelmente por causa das grandes flutuações diárias e das oscilações da radiação solar entre os dias, em razão da alta nebulosidade, bem como das transformações morfológicas das plantas.

As  $\epsilon$  máximas das plantas não estressadas foram de 1,04, 1,89 e 2,81%, em ordem decrescente de radiação solar, atingidas aos 33 dias após a emergência, independentemente do nível de luz. As plantas sob déficit hídrico apresentaram  $\epsilon$  máximas de 0,16, 0,25 e 0,52%, em ordem decrescente do nível de luz, alcançadas aos 12, 30 e 33 dias após a emergência, respectivamente.

Os valores médios da eficiência na conversão de energia solar foram 0,21, 0,31, 0,64 e 0,03, 0,08 e 0,17%, em ordem decrescente da densidade do fluxo de luz, para as plantas sem e com déficit hídrico, respectivamente, durante todo o ciclo da cultura.

Com o estresse hídrico, a eficiência na conversão da energia solar foi drasticamente reduzida, sendo, apenas, de 14,3, 25,8 e 26,6% da das plantas submetidas à capacidade de campo, em ordem decrescente de radiação solar incidente.

O declínio da eficiência na conversão da energia solar, ocorrido em todos os níveis de luz, foi ocasionado, provavelmente, pela inversão de prioridades no metabolismo, quando as taxas de degradação superam as de síntese e a eficiência do aparelho fotossintético vai declinando, com o envelhecimento do sistema biológico (17, 19).

#### 4. RESUMO E CONCLUSÕES

O crescimento e a eficiência na conversão de energia solar, sob três níveis de radiação solar incidente (100, 62 e 30%) e dois regimes hídricos ( $= -0,03$  MPa e  $= -1,0$  MPa), foram estudados em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cv. 'Negrito 897', cultivado em casa de vegetação. As colheitas de material foram realizadas com intervalos regulares de 10 dias. As taxas máximas de produção de matéria seca foram 0,41, 0,56 e 0,51 g. vaso $^{-1}$  dia $^{-1}$ , obtidas aos 36, 34 e 31 dias, e 0,11, 0,09 e 0,08 g.vaso $^{-1}.\text{dia}^{-1}$ , aos 15, 24 e 30 dias, em ordem crescente de densidade de fluxo radiante, para as plantas na capacidade de campo e com estresse hídrico, respectivamente. As diferenças entre as taxas de produção de matéria seca foram devidas, principalmente, aos valores da taxa assimilatória líquida. Houve um encurtamento do ciclo vegetativo das plantas não-sombreadas com o estresse hídrico. A redução das taxas de produção de matéria seca pelo déficit hídrico, em todos os tratamentos luminosos, foi resultado das reduções tanto na taxa assimilatória líquida quanto na área foliar. Ao inverso da área foliar, a taxa assimilatória líquida aumentou com o nível de luz, entretanto os aumentos foram menores com o déficit hídrico. O déficit hídrico reduziu a área foliar em todos os tratamentos luminosos, sem, porém, modificar a tendência de aumento com o sombreamento. A taxa de crescimento relativo e a razão de área foliar apresentaram decréscimo acentuado com o envelhecimento da planta, independentemente do sombreamento e do regime hídrico. A razão de área foliar aumentou com a redução do nível de luz em ambos os regimes hídricos, em razão, principalmente, dos valores da área foliar específica, pois, praticamente, os níveis de densidade de fluxo radiante não influenciaram a razão de peso foliar. As maiores resistências estomáticas abaxiais foram alcançadas pelas plantas com estresse hídrico, ocorrendo, também, tendência de aumento da resistência abaxial com a redução do nível de luz. A resistência estomática adaxial aumentou com o sombreamento em ambos os regimes hídricos. A resistência adaxial foi bem maior do que a abaxial em todos os tratamentos. A eficiência máxima na conversão de energia solar foi de 2,8% para 70% de redução da

radiação. Os valores médios da eficiência na conversão da energia solar foram 0,21, 0,31 e 0,64 e 0,03, 0,08 e 0,17%, em ordem decrescente de densidade de luz, para as plantas sem e com déficit hídrico, respectivamente, durante todo o ciclo da cultura. Com o estresse hídrico, a eficiência na conversão da energia solar foi drasticamente reduzida, sendo de 14,3, 25,8 e 26,6% da das plantas submetidas à capacidade de campo, em ordem decrescente de radiação solar. Houve mudança no hábito de crescimento das plantas submetidas a sombreamento, o qual passou do tipo II para o tipo III. O feijoeiro mostrou grande plasticidade de adaptação ao sombreamento e baixa adaptabilidade ao severo estresse hídrico.

## 5. SUMMARY

(GROWTH AND SOLAR ENERGY CONVERSION IN *Phaseolus vulgaris* L.  
UNDER THREE LIGHT FLUX DENSITIES AND TWO HYDRIC REGIMES)

Growth analysis and evaluation of solar energy efficiency conversion were studied in *Phaseolus vulgaris* L. cv. Negrito 897, under three light levels (30, 62 and 100% of sunlight) and two water conditions ( $= -0,03$  MPa and  $= -1,0$  MPa) in the greenhouse. The plants were harvested at 10-day intervals. Maximum rates of dry matter production were 0.41, 0.56 and 0.51, recorded 36, 34 and 31 days, and 0.11, 0.09 and 0.08 g. pot $^{-1}$ . day $^{-1}$ , registered 15, 24 and 30 days after emergence, in order of increasing light level under field capacity and water deficit, respectively. Differences in crop growth rates for all treatments were due mainly to the values of the net assimilation rate. Water deficit shortened the life cycle of the plants grown under full sunlight. Water stress reduced crop growth rate for all light treatments, and this was due to decrease in both net assimilation rate and leaf area. Net assimilation rate also increased with light level increases. Water stress drastically reduced leaf area for all light levels without modifying the trend of shading. Relative growth rate and leaf area ratio showed sharp decreases with plant aging, irrespective of water regime and shade. Leaf area ratio increased with shading in both water systems, this was due mainly to the values of the specific leaf area because the leaf weight ratio was not influenced by light levels. The greatest abaxial stomatic resistance was reached in water stressed plants. There was also a tendency for the increase of abaxial stomatic resistance with shading. Adaxial stomatic resistance increased with shading in both water systems. Adaxial stomatic resistance was always greater than the abaxial in all treatments. Maximum efficiency of solar energy conversion was 2.8% for shading (70% of light cut off) and non water-stressed plants. The average efficiency of solar energy conversion throughout the entire crop cycle was 0.21, 0.31 and 0.64 with soil at field capacity, and, 0.03, 0.08 and 0.17% under water stress condition, in order of decreasing light level. The average efficiency of solar energy conversion in water stressed plants was markedly reduced, being 14.3, 25.8 and 26.6% of the values obtained when plants were grown in soil under field capacity conditions. Plant growth habit changed from type II to type III with shading. Bean plants showed a high plasticity to light level but low adaptability to severe water stress.

## 6. LITERATURA CITADA

1. ALLEN, L.H. Shade — cloth microclimate of soybean. *Agron. J.* 67:175-181. 1975.

2. ALMEIDA, A.A.F. *Efeito da radiação solar e do nitrogênio sobre o crescimento, produção e composição química do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L. cv. Negrito 897)*. Viçosa, U.F.V., 109 p. 1985 (Tese M.S.).
3. BOYER, J.S. Water deficits and photosynthesis. In: KOZLOWSKI, T.T. (ed.). *Water deficits and plant growth*. Vol. 4. New York, Academic Press, 1976. p. 153-190.
4. BOWES, G.; OGREN, W.L. & HAGEMAN, R.H. Light saturation, photosynthesis rate, RUDP carboxylase activity, and specific leaf weight in soybeans grown under different light intensities. *Crop Sci.* 12:77-79. 1972.
5. BURNSIDE, C.A. & BÖHNING, R.H. The effect of prolonged shading on the light saturation on curves of apparent photosynthesis in sun plants. *Plant Physiol.* 32:61-63. 1957.
6. CIHA, A.J. & BRUN, W.A. Stomatal size and frequency in soybeans. *Crop Sci.* 15:309-313. 1975.
7. COOPER, C.S. Response of birdsfoot trefoil and alfalfa to various levels of shade. *Crop Sci.* 6:63-66. 1966.
8. CROOKSTON, R.K.; TREHARNE, K.J.; LUDFORD, P. & OZBUN, J.L. Response of beans to shading. *Crop Sci.* 15:412-416. 1975.
9. DORNHOFF, G.M. & SHIBLES, R.M. Varietal differences in net photosynthesis of soybean leaves. *Crop Sci.* 10:42-45. 1970.
10. EHRLER, W.L. & VAN BAEL, C.H.M. Leaf diffusion resistance, illuminance and transpiration. *Plant Physiol.* 43:208-214. 1968.
11. EVANS, G.C. *The quantitative analysis of plant growth*. Berkeley, University of California Press, 1972. 734 p.
12. HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant. Physiol.* 24:519-570. 1973.
13. JONES, M.M.; TURNER, N.C. & OSMOND, C.B. Mechanisms of drought resistance. In: PALEG, L.G. & ASPINALL, D. (eds). *The physiology and biochemistry of drought resistance in plants*. Australia, Academic Press, 1981. p. 15-37.
14. KANEMASU, E.T. & TANNER, C.B. Stomatal diffusion resistance of snap beans. I. Influence of leaf-water potential. *Plant Physiol.* 44:1547-1552. 1969.
15. KVET, J.; ONDOCK, J.P.; NECAS, J. & JARVIS, P.G. Methods of growth analysis. In: SESTAK, Z.; CATSKY, J.; JARVIS, P.G. (eds.). *Plant photosynthetic production. Manual of methods*. The Hague, Dr. W. Junk N.V. Publishers, 1971. p. 343-391.
16. LEVIT, J. *Response of plants to environmental stress*. New York, Academic Press, 1972. 697 p.

17. LOPES, N.F.; OLIVA, M.A.; FREITAS, J.G. & 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. *Rev. Ceres.* 29(166): 586-606. 1982.
18. MARKHART, A.H. Comparative water relations of *Phaseolus vulgaris* L. and *Phaseolus acutifolius* Gray. *Plant Physiol.* 77:113-117. 1985.
19. MELGES, E. Crescimento, conversão da energia solar e nodulação da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) sob quatro níveis de radiação, em Viçosa, Minas Gerais. Viçosa, U.F.V., 1983. 78 p. (Tese M.S.).
20. MILLAR, A.A. & GARDNER, W.R. Effects of soil and plant water potential on dry matter production of snap beans. *Agron. J.* 64:559-562. 1972.
21. MONTEITH, J.L. Light and crop production. *Field Crop Abstracts.* 18:213-219. 1965.
22. NAGARAJAH, S. The relation between photosynthesis and stomatal resistance of each leaf surface in cotton leaves. *Physiol. Plant.* 3:62-66. 1975.
23. 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.* 55:1067-1070. 1975.
24. PEARCE, R.B.; CARLSON, G.E.; BARNES, D.K.; HART, R.H. & HANSON, C.H. Specific leaf weight and photosynthesis in alfalfa. *Crop Sci.* 9:423-426. 1969.
25. RADFORD, P.J. Growth analysis formulae. Their use and abuse. *Crop Sci.* 7:171-175. 1967.
26. RICHARDS, F.J. The quantitative analysis of growth. In: STEWARD, F.C. (ed.). *Plant physiology. A Treatise.* New York, Academic Press, 1969. p. 3-76.
27. 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.* 20:293-298. 1970.
28. SCOTT, H.D. & BATCHELOR, J.T. Dry weight and leaf area production rates of irrigated determinate soybeans. *Agron. J.* 71:776-782. 1979.
29. SING, M.; OGREM, W.L. & WIDHOLM, J.M. Photosynthetic characteristics of several C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> plant species grown under different light intensities. *Crop Sci.* 14:563-566. 1974.
30. SLATYER, R.O. *Plant-water relationships.* New York, Academic Press, 1967. 296 p.
31. STALFELT, M.G. The stomata as a hydrophototic regulator of the water deficit of the plant. *Physiol. Plant.* 8:572-593. 1955.

32. TURNER, N.C. & BEGG, J.E. Response of pasture plants to water deficit. In: WILSON, J.R. (ed.). *Plant relation in pasture*. CSIRO, Melbourne 1978. 50-66 p.
33. WALLACE, D.H. & MUNGER, H.M. Studies of the physiological basis for yield differences. II. Variations in dry matter distribution among aerial organs for several dry bean varieties. *Crop Sci.* 6:503-507. 1966.
34. WANG, S.R. *Défice crítico de saturação e sensibilidade estomática como indicadores de resistência à seca em quatro cultivares de feijão (Phaseolus vulgaris L.)*. Viçosa, U.F.V., 1976. 33 p. (Tese M.S.).
35. WATSON, D.F. The physiological basis of variation in yield. *Adv. Agron.* 4:101-145. 1952.
36. WILLIAMS, R.F. The physiology of plant growth with special reference to the concept of net assimilation. *Ann. Bot.* 10:41-72. 1946.