

CRESCIMENTO E CONVERSÃO DA ENERGIA SOLAR EM FEIJÃO SUBMETIDO A TRÊS DOSES DE NITROGÊNIO E DOIS REGIMES HÍDRICOS¹

ROBERTO C.L. COSTA², NEI F. LOPES³, MARCO A. OLIVA⁴ e NAIRAN F. BARROS⁵

RESUMO - Foram estudados, em casa de vegetação, o crescimento e a conversão da energia solar em feijão *Phaseolus vulgaris* L.) C.V. Negrito 897, adubado com três doses de nitrogênio (50, 125 e 200 ppm de N) e submetido a dois regimes hídricos (Capacidade de campo e estresse hídrico cíclico de -0,03 a -1,0 MPa). O regime hídrico apresentou maior efeito no crescimento do que as doses de N, embora a dose elevada desse elemento tenha minimizado o efeito do déficit hídrico, provocando maior endurecimento dessas plantas, causado pelo maior desenvolvimento das raízes. O déficit hídrico reduziu e o incremento da dose de N aumentou a eficiência de conversão de energia solar.

Termos para indexação: feijão, estresse hídrico cíclico, água

GROWTH AND SOLAR ENERGY CONVERSION IN COMMON BEAN GROWN UNDER THREE NITROGEN LEVELS AND TWO WATER SYSTEMS

ABSTRACT - Growth and solar energy conversion in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Negrito 897 grown under three nitrogen levels (50, 125 and 200 ppm of N) and two water systems (field capacity and cyclic water stress from -0.03 to -1.0 MPa) were studied in the greenhouse. The water system showed greater effect on growth than nitrogen levels, though high nitrogen level minimized the hydric stress effects, producing plant hardening by increment in the root development. The water deficit reduced and high nitrogen level increased the efficiency of solar energy conversion.

Index terms: cyclic water stress, water.

INTRODUÇÃO

A água e o nitrogênio são dois fatores importantes no crescimento e desenvolvimento das plantas. A produtividade primária de uma cultura depende estreitamente da adequada combinação destes fatores, podendo a limitação da disponibilidade de um influenciar a utilização do outro.

O estresse hídrico reduz drasticamente as taxas de produção de matéria seca do feijoeiro, em decorrência principalmente das reduções na taxa assimilatória líquida e da área foliar (Lopes et al. 1986). Essas reduções são produzidas pela inibição da atividade fotossintética causada pelo fechamento dos estômatos (Boyer 1976). O déficit hídrico reduz sobremaneira a área foliar (Markhart 1985), principal-

mente se o estresse é prolongado (Lopes et al. 1986). A redução da área foliar é resultado de uma aceleração da senescência, que, com déficits hídricos prolongados, conduz a uma abscisão foliar, posto que a senescência precoce representa perda irreversível na capacidade fotossintética da cultura (Boyer 1976).

Por outro lado, também no feijoeiro a velocidade de absorção do N é paralela à taxa de produção de matéria seca (Gallo & Miyasaka 1961). Em plantas mantidas em condições adequadas de umidade de solo, o N incrementa a taxa de produção de matéria seca (Edje et al. 1975, Tesha & Eck 1983, Timpo & Neyra 1983, Almeida 1985), sobretudo em razão do aumento da área foliar e da taxa assimilatória líquida (Almeida 1985).

Tanto a água quanto o N, quando em níveis baixos, reduzem a eficiência do feijoeiro em captar energia solar (Wallace & Munger 1965, Lopes et al. 1982, Almeida 1985, Lopes et al. 1986), em virtude da redução da superfície de interceptação e da conversão da energia solar.

Tendo em vista a importância da água e do N na produtividade primária do feijoeiro e, portanto, na sua produção, procurou-se analisar o efeito da combinação de dois regimes hídricos e três níveis de N sobre o crescimento e conversão da energia solar na cultivar Negrito 897.

¹ Aceito para publicação em 9 de fevereiro de 1989. Parte da tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa (UFV) pelo primeiro autor para a obtenção do grau de Mestre em Fisiologia Vegetal.

² Biólogo, M.Sc., Prof.-Ass., Dep. de Botânica e Fitossanidade da Fac. Ciências Agrárias do Pará, CEP 66000 Belém, PA.

³ Eng. - Agr., Ph.D., Prof.-Adj., Dep. Biologia Vegetal, UFV, CEP 36570 Viçosa, MG.

⁴ Biólogo, Dr. rer. nat., Prof.-Adj., Dep. Biologia Vegetal, UFV.

⁵ Eng. - Florestal, Ph.D., Prof.-Adj., Dep. de Solos, UFV.

MATERIAL E MÉTODOS

Plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Negrito 897 foram cultivadas em casa de vegetação, no período de 29 de maio a 24 de agosto de 1985, e submetidas a dois regimes hídricos (capacidade de campo e estresse hídrico cíclico) e três níveis de N (50, 125 e 200 ppm de N). As condições experimentais foram similares às descritas previamente por Costa et al. (Prelo).

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com parcelas subsubdivididas, com três repetições. Cada parcela representava uma época de coleta da planta, e era formada por duas subparcelas, correspondentes a dois regimes hídricos: capacidade de campo ($\approx -0,03$ MPa) e estresse hídrico cíclico (de $-0,03$ a $-1,0$ MPa), que, durante o experimento, correspondeu a 24 ciclos de estresse. Cada subparcela era constituída por três subsubparcelas referentes a níveis de nitrogênio: 50, 125 e 200 ppm de N. As coletas foram realizadas a intervalos regulares de dez dias a partir da emergência, durante todo o ciclo da cultura, perfazendo um total de oito coletas.

Na coleta, as plantas eram cortadas rente ao solo, e o sistema radicular lavado sobre peneira, até total retirada do solo aderente. O peso da matéria fresca, tanto da parte aérea como das raízes, era tomado logo após a separação das partes (folhas, caules com pecíolos, raízes, flores com botões, pericarpos e sementes). Para a obtenção de peso de matéria seca, o material vegetal foi colocado em estufa de ventilação forçada, à temperatura de 75°C, onde permaneceu até peso constante. A área foliar foi determinada através de um medidor de área LI-COR, modelo LI-3100.

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 $W_t = W_m / (1 + B e^{-Ct})$, sendo W_m a estimativa assintótica do crescimento máximo; t , o tempo em dias; B e C , constantes de ajustamento. Foi efetuada, também, a análise de regressão curvilínea das médias de A_f acumuladas em cada coleta com o emprego de polinômios ortogonais. Procurou-se chegar ao polinômio que melhor se ajustasse aos valores de A_f observados, de acordo com o que foi proposto por Richards (1969).

Para se obterem os valores instantâneos da taxa da produção de matéria seca (C_t) e da taxa de crescimento da área foliar (C_A), foram empregadas as derivadas das equações ajustadas de W_t e A_f em relação ao tempo, respectivamente (Radford 1967 e Richards 1969).

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 $R_A = C_A/A_f$. 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 área foliar específica (S_A) e a razão de peso foliar (F_w) foram obtidos a partir de valores instantâneos de A_f , W_t e W_f (matéria seca das folhas), usados nas equações de $F_A = A_f/W_t$, $S_A = A_f/W_t$, $F_w = W_f/W_t$, de acordo com Radford (1967).

Os valores instantâneos da eficiência de conversão da energia solar (ξ) foram determinados a partir da seguinte equação: $\xi(\%) = (100 \cdot C_t \cdot \delta) / R_a$, em que R_a representa o valor médio diário da radiação solar total incidente,

em cal. vaso⁻¹ . dia⁻¹, registrado cinco dias anteriores à C_t correspondente. O valor calorífico (δ) utilizado foi de 3.800 cal.g⁻¹ (Kvet et al. 1971).

A radiação solar total incidente foi obtida com um solarmetro KIPP-ZONEN, modelo CM6, acoplado a um milivoltímetro registrador. As temperaturas máximas, mínimas e médias, bem como a umidade relativa do ar, foram obtidas por intermédio de um termoígrafo Lambrecht, modelo 252. Todos os dados meteorológicos foram coletados no interior da casa de vegetação, a uma altura de 1,5 m.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O acúmulo de matéria seca total (W_t) foi reduzido drasticamente pelo déficit hídrico (Fig. 1). É provável que a diminuição de W_t seja consequência do fechamento dos estômatos, que causou redução na taxa fotossintética e aumento na taxa respiratória (Costa et al. 1988). Em feijoeiro, a transpiração e a taxa de produção de matéria seca decrescem curvilinearmente, em forma quadrática, com a redução do potencial hídrico do solo (Millar & Gardner 1972). O crescimento do feijoeiro, em ambos os regimes hídricos, apresentou três fases distintas: uma fase inicial, anterior à floração, quando o crescimento foi relativamente lento; uma intermediária, dos 30 aos 60 dias após a emergência, ou seja, do início da floração até o início do período de enchimento de grãos, quando o crescimento foi acelerado sobretudo nas plantas cultivadas em solo mantido na capacidade de campo e com as maiores doses de N, e uma final, na qual ocorreu o desenvolvimento de grãos, quando o acúmulo na matéria seca foi muito lento e as curvas aproximaram-se de um patamar. As plantas estressadas apresentaram uma fase de crescimento acelerado mais curta que as túrgidas. Embora o incremento da dose de N tenha prolongado esta fase, o N atenuou o efeito do déficit hídrico. O acúmulo de matéria seca total (W_t) aumentou com o incremento da dose de N em ambos os regimes hídricos (Fig. 1). As curvas de W_t das plantas túrgidas divergiram a partir do 40º dia após a emergência (início da floração) entre a menor e as maiores doses de N e depois do 60º dia após a emergência (fase de enchimento de grãos) entre 125 e 200 ppm de N (Fig. 1A). As curvas de W_t apresentaram diferenças quanto às doses de N a partir do 50º dia após a emergência em plantas que sofreram estresse hídrico cíclico (Fig. 1B). Esses resultados mostraram que a redução em W_t está mais relacionada com o regime hídrico do que com a dose de N. Lawn (1982), estudando o efeito do estresse hídrico em quatro espécies de leguminosas, verificou que a matéria seca acumulada nas plantas diminui com a redução do potencial hídrico

do solo, o que também foi observado por Markhart (1985) e Lopes et al. (1986).

O comportamento da taxa de produção de matéria seca total (C_t) encontra-se na Fig. 2. Os valores máximos obtidos foram de 1,66; 2,47; 2,45 g.va-

so⁻¹.dia⁻¹, nas plantas túrgidas, e de 1,04; 0,98; 1,10 g.vaso⁻¹.dia⁻¹, em plantas que sofreram estresse hídrico cíclico, ambas em ordem crescente de doses de N. Tais valores foram alcançados aos 45, 45 e 50 dias após a emergência das plantas que não so-

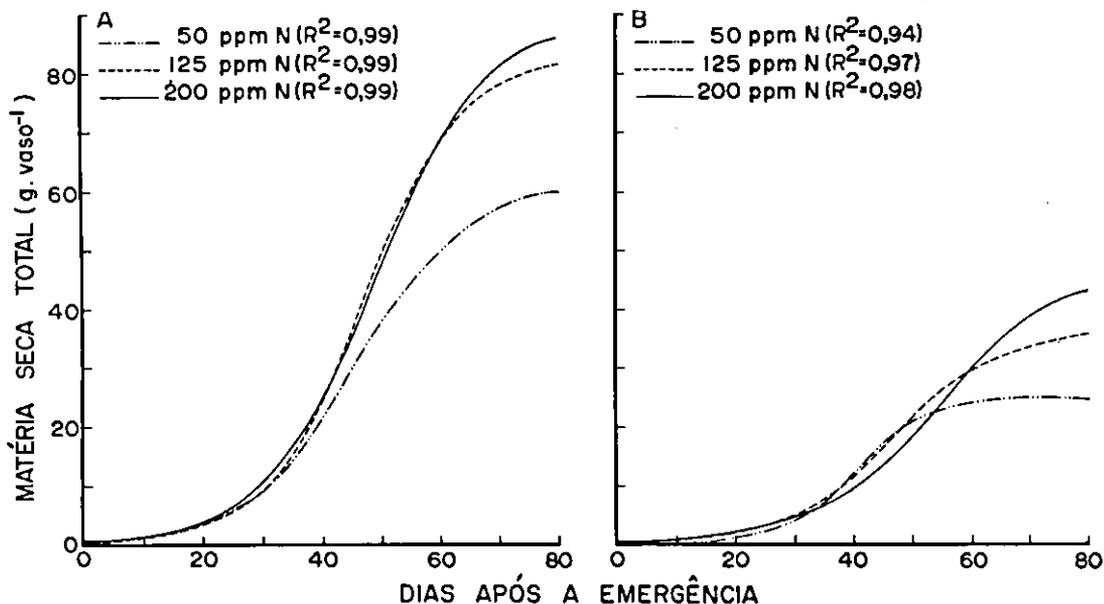


FIG. 1. Matéria seca total do feijoeiro submetido a três doses de nitrogênio e dois regimes hídricos (A = capacidade de campo; B = estresse hídrico).

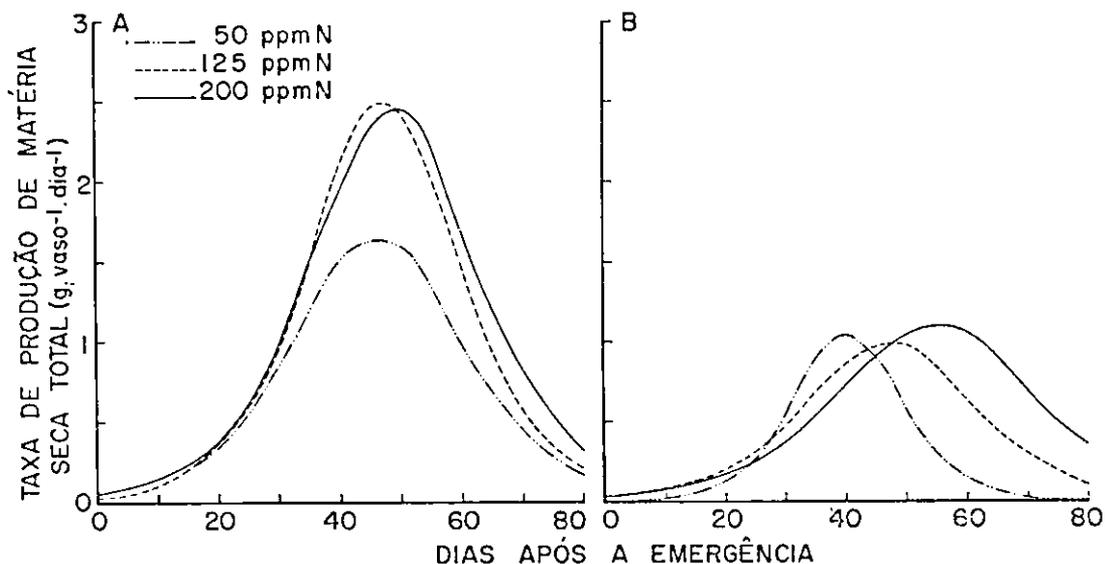


FIG. 2. Taxa de produção de matéria seca do feijoeiro submetido a três doses de nitrogênio e dois regimes hídricos (A = capacidade de campo; B = estresse hídrico).

freram déficit hídrico (Fig. 2A), e aos 40, 48 e 55 dias após a emergência nas com déficit hídrico cíclico (Fig. 2B). Nota-se que a dose de N nas plantas com déficit hídrico retardou o alcance da C_t máximo, chegando, nessa defasagem, a atingir duas semanas entre os tratamentos com 50 ppm e 200 ppm de N. No início do ciclo, a dose de N não afetou a C_t ; porém a partir do início da floração, a C_t aumentou com o incremento da dose de N, sendo este mais notável nas plantas estressadas. Isto indica que o N talvez tenha promovido maior endurecimento nas plantas estressadas, provavelmente por causa da maior alocação de fotoassimilados nas raízes, induzida pelo incremento da dose de N (Costa 1986). Isto leva a crer que plantas crescidas em solos com altos teores de N e que sofrem tensões hídricas cíclicas tendem a retardar o seu crescimento. O estresse hídrico reduziu drasticamente a C_t em todos os níveis de N. Esse decréscimo decorreu principalmente das reduções observadas na A_f (Fig. 3), pois a taxa assimilatória líquida (E_A) (Fig. 4) praticamente não foi influenciada pelo déficit hídrico. O fornecimento de N e água dentro de uma combinação adequada aumenta a produção da matéria seca (Tesda & Eck 1983) e a produção de grãos (Dubets & Mahalle 1969, Horner & Mojtehed 1970, Smittle 1975, Doss et al. 1977). A produção econômica no feijoeiro é o rendimento de sementes. Contudo, substancial crescimento vegetativo é pré-requisito para maximizar a produção.

Existente forte correlação linear entre a matéria seca de sementes e a biomassa, o que significa que, quanto maior for a biomassa, maior será o incremento na produção de sementes (Almeida 1985).

É interessante observar que não houve um encurtamento do ciclo de vida das plantas que sofreram déficit hídrico cíclico, embora tenha ocorrido diminuição nos valores dos parâmetros de crescimento, principalmente de A_f (Fig. 3), o que pode ser devido ao fato de o estresse hídrico, embora severo, não ter sido contínuo.

O déficit hídrico reduziu a área foliar (A_f) (Fig. 3). Verificou-se efeito gradativo da dose de N sobre a A_f nas plantas túrgidas a partir do 30º dia da emergência, pois a A_f aumentou com o incremento na dose de N (Fig. 3A). O déficit hídrico causou um atraso no efeito gradativo da dose de N, uma vez que só foi observado a partir do 48º dia após a emergência (Fig. 3B). Os valores máximos de A_f foram 43,0; 63,0; 72,3 e 22,2; 28,9 e 29,3 $\text{dm}^2 \cdot \text{vaso}^{-1}$ em plantas túrgidas e estressadas, em ordem crescente de dose de N, respectivamente. Tais valores foram alcançados, aproximadamente, ao 60º dia após a emergência nas plantas túrgidas. Nas plantas estressadas, os valores máximos encontrados foram atingidos no 58º, 63º e 68º dia após a emergência, em ordem crescente de dose de N.

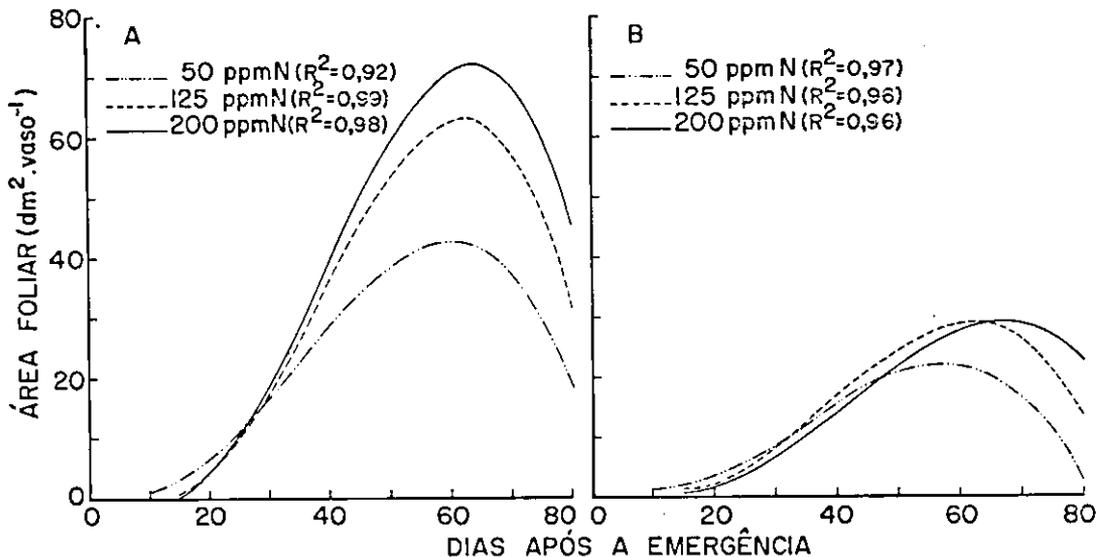


FIG. 3. Área foliar do feijoeiro submetido a três doses de nitrogênio e dois regimes hídricos (A = capacidade de campo; B = estresse hídrico).

A percentagem de interceptação da radiação solar incidente, bem como a taxa de produção de matéria seca, aumenta com o desenvolvimento da A_f . Uma vez que grande turgidez é requerida para a expansão foliar, os efeitos de déficit hídrico sobre a A_f resultam, inicialmente, da redução da turgescência da folha e, posteriormente, menor A_f (Cleland 1967, Boyer 1968 e 1976). O declínio de todas as curvas de A_f (Fig. 3) ocorreu a partir do 65º dia após a emergência, o que indica que a senescência das folhas deve ter sobrepujado a taxa de emissão de novas folhas.

As curvas da taxa assimilatória líquida (E_A) descrevem a eficiência da produção líquida do aparelho assimilatório (Fig. 4). Os valores máximos de E_A foram 0,10; 0,10; 0,11 $\text{g}\cdot\text{dm}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$ e 0,08; 0,09; 0,14 $\text{g}\cdot\text{dm}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$ em plantas túrgidas e estressadas, respectivamente, em ordem crescente de dose de N. Genericamente, não houve diferenças de E_A entre as plantas túrgidas e estressadas, exceto nas tratadas com 200 ppm de N, em que a E_A foi levemente maior nas plantas estressadas. Nas plantas túrgidas (Fig. 4A), a E_A foi levemente maior com o tratamento de 125 ppm de N até o 50º dia da emergência, quando os valores se igualaram até o final do ciclo da cultura. Todavia, nas plantas que sofreram déficit hídrico (Fig. 4B), a E_A aumentou com o incremento da dose de nitrogênio. Observa-se, ainda, que os valores da E_A foram maiores durante a fase vegeta-

tiva, decrescendo na fase reprodutiva, fato também observado anteriormente em feijão por Lopes et al. (1982), Almeida (1985) e Lopes et al. (1986). De modo geral, a E_A decresceu em todos os tratamentos com a ontogenia das plantas.

Embora as plantas estressadas tenham apresentado praticamente os mesmos valores da E_A em relação às plantas túrgidas, esse parâmetro de crescimento não chegou a compensar o efeito da A_f , fazendo com que as plantas estressadas apresentassem menor C_f . Portanto, o déficit hídrico não diminuiu a E_A , porém as doses de N promoveram uma desaceleração na redução da E_A , principalmente após o florescimento. Esses resultados são conflitantes com os encontrados por Lopes et al. (1986), que constatarem uma redução da E_A pelo déficit hídrico. Contudo, Watson (1952 e 1958) chamou a atenção de que a E_A varia mais com a idade da planta do que com fatores ambientes e que, quando o déficit hídrico é retirado, a E_A volta aos valores normais, propiciando, portanto, valores semelhantes aos das plantas túrgidas.

O déficit hídrico reduziu drasticamente a taxa de crescimento de área foliar (C_A) (Fig. 5). Observa-se que as plantas cultivadas em solo na capacidade de campo (Fig. 5A) apresentaram aumento gradativo da C_A com o incremento da dose de N, enquanto plantas que sofreram déficit hídrico (Fig. 5B) não apresentaram essa tendência, havendo apenas uma pe-

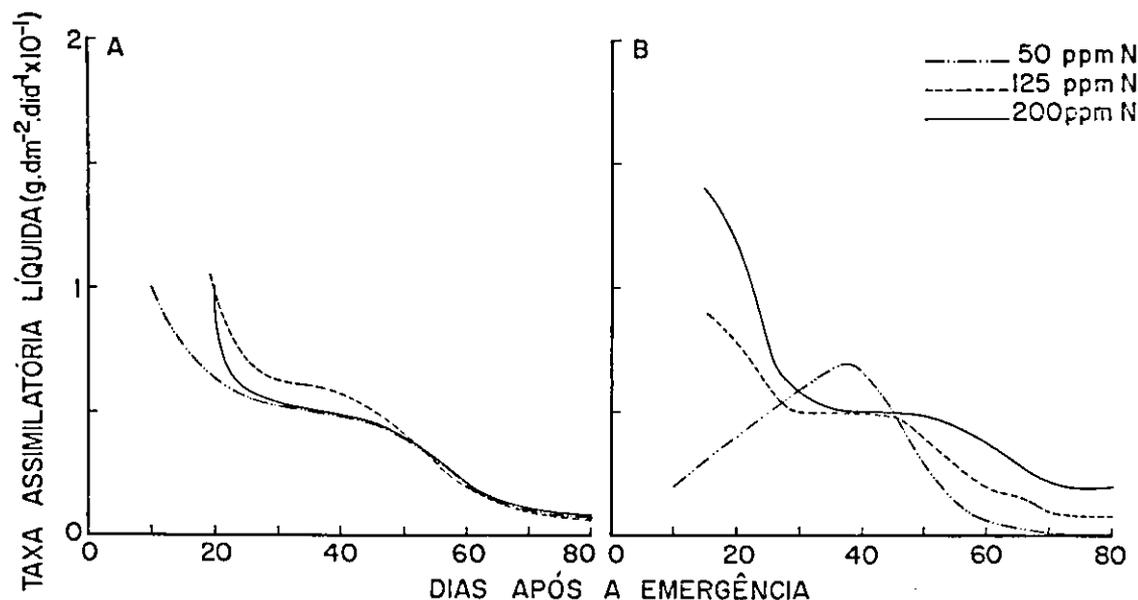


FIG. 4. Taxa assimilatória líquida do feijoeiro submetido a três doses de nitrogênio e dois regimes hídricos (A = capacidade de campo; B = estresse hídrico).

quena diferença entre os tratamentos, o que mostra que o desenvolvimento de uma folha é dependente do fornecimento de nutrientes minerais, especialmente do N (Milthorpe & Moorby 1974) e da água, induzindo turgescência foliar (Cleland 1967, Boyer 1968 e 1976, Davies & Volkenburgh 1983). Os valores máximos da C_A foram 1,22; 1,92; 2,14 e 0,68; 0,87 e 0,83 $\text{dm}^2 \cdot \text{vaso}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$, atingidos aos 35, 40, 40 e 34, 39 e 43 dias após a emergência para as plantas túrgidas e estressadas, respectivamente, em ordem crescente de dose de N; a C_A apresentou valores ascendentes até atingir o máximo, na fase do início do florescimento; posteriormente, decresceu rapidamente, até atingir valores negativos em pleno processo de enchimento de grãos.

O crescimento relativo de área foliar (R_A) (Fig. 6) atingiu valores maiores quando as plantas eram mais jovens, sendo as maiores taxas observadas nas plantas cultivadas em solo na capacidade de campo (Fig. 6A). Os valores máximos da R_A foram 0,18; 0,39; 0,31 e 0,12; 0,16 e 0,19 $\text{dm}^2 \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ em plantas túrgidas e estressadas, em ordem crescente de dose de N, respectivamente. Tais valores foram observados no 15º e 20º dias após a emergência em plantas túrgidas (Fig. 6A), e no 20º dia após a emergência em plantas estressadas (Fig. 6B). O déficit hídrico reduziu significativamente os valores da R_A até o 40º dia após a emergência, não havendo diferenças significativas após o início do florescimento até, aproximadamente, o 60º dia após a emergência,

quando os valores da R_A tornaram-se negativos, fato que indica que a taxa de senescência foliar começou a sobrepujar a taxa de emissão foliar. A R_A aumentou com o incremento do nível de N em ambos os regimes hídricos.

As taxas de crescimento relativo (R_W) decresceram com a idade da planta nos dois regimes hídricos (Fig. 7), estando esses decréscimos relacionados com o aumento de material não-fotossintetizante com a ontogenia da planta (Williams 1946). Os valores iniciais são relativamente altos nos dois regimes hídricos, decrescendo rapidamente até o 80º dia após a emergência, quando as curvas de R_W das três doses de N começam a se confundir nas plantas mantidas em solo na capacidade de campo (Fig. 7A). Em plantas que sofreram estresse hídrico cíclico (Fig. 7B), essa tendência não foi observada, sendo os maiores valores da R_W obtidos com menores doses de N, invertendo-se essa ordem a partir do 40º dia após a emergência. Portanto, o incremento da dose de N minimizou o efeito do estresse hídrico sobre a R_W . Normalmente, a demanda de N aumenta na fase reprodutiva. A tendência da R_W após o florescimento nas plantas estressadas deve-se à defasagem e ao aumento da taxa de produção de matéria seca (Fig. 2B) com o incremento da dose de N. Tal fato foi devido ao aumento verificado no crescimento das raízes (Costa 1986), proporcionado por maiores níveis de N, o que possibilitou às raízes explorarem maior volume de solo para absorção de N e água. O déficit

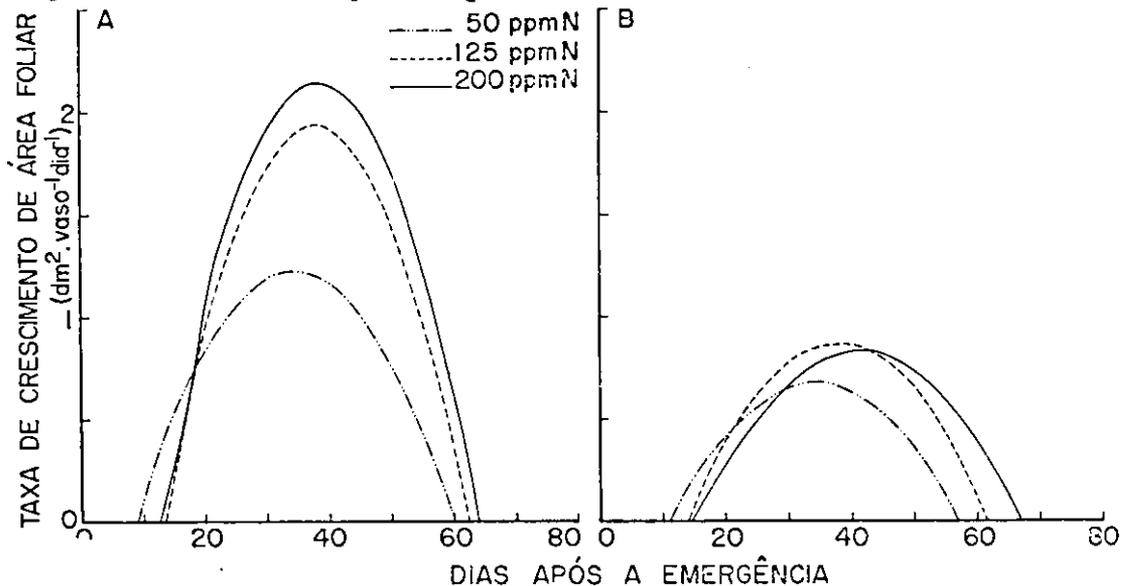


FIG. 5. Taxa de crescimento de área foliar do teijoeiro submetido a três doses de nitrogênio e dois regimes hídricos (A = capacidade de campo; B = estresse hídrico).

hídrico cíclico causou uma leve redução na R_w , embora o estresse hídrico (-0,03 a -1,0 MPa) fosse severo, mas não contínuo. Lopes et al. (1986) encontram uma drástica redução na R_w com estresse hídrico severo e contínuo (-1,0 MPa).

A razão da área foliar (F_A) (Fig. 8), que é uma medida da dimensão do aparelho assimilador, inicialmente decresceu com incremento das doses de N, invertendo posteriormente esta tendência em plantas mantidas em solo na capacidade de campo (Fig. 8A).

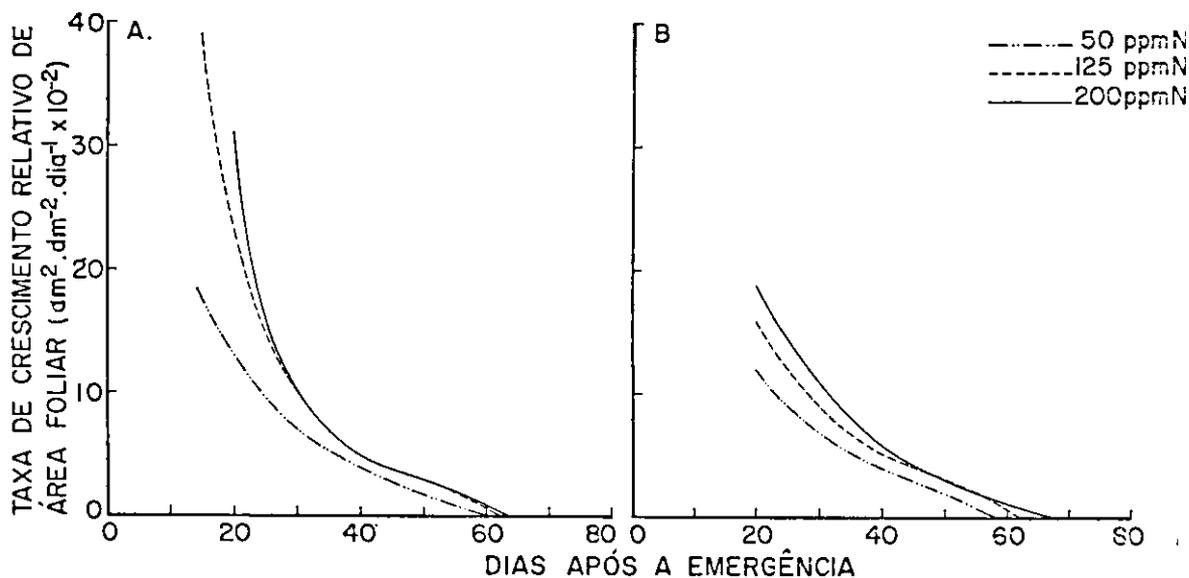


FIG. 6. Taxa de crescimento relativo de área foliar do feijoeiro submetido a três doses de nitrogênio e dois regimes hídricos (A = capacidade de campo; B = estresse hídrico).

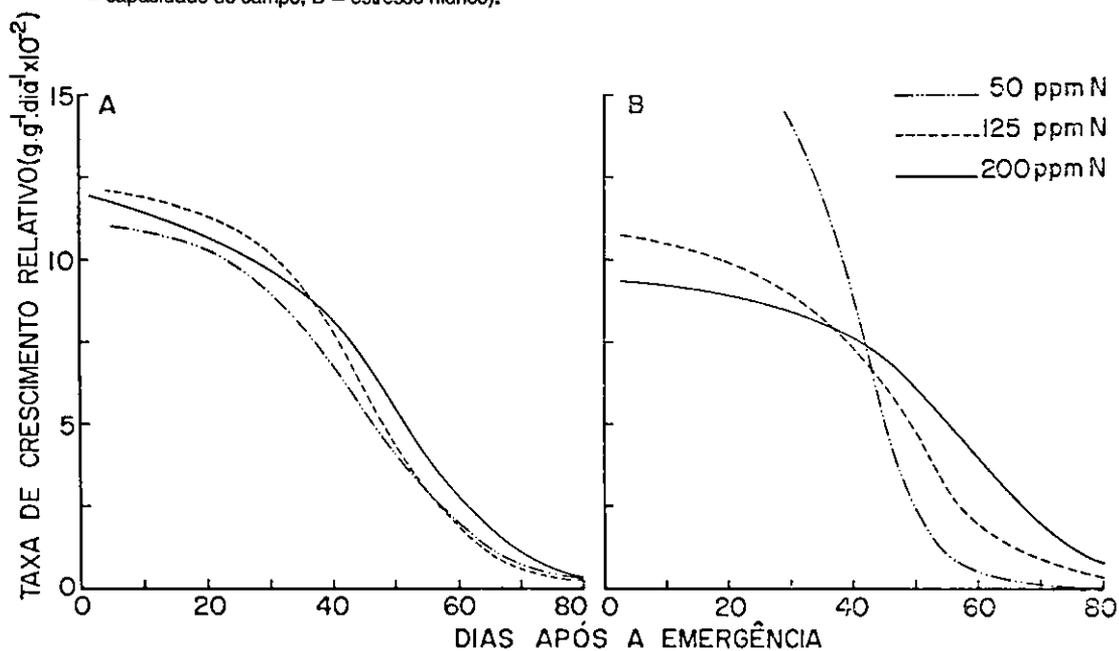


FIG. 7. Taxa de crescimento relativo do feijoeiro submetido a três doses de nitrogênio e dois regimes hídricos (A = capacidade de campo; B = estresse hídrico).

Em plantas que sofreram estresse hídrico (Fig. 8B), inicialmente, na fase vegetativa, a F_A apresentou maiores valores com a diminuição na dose de N; posteriormente, houve uma reversão nessa tendência até o final do ciclo da cultura. Os valores da F_A foram semelhantes nos dois regimes hídricos. É possível que isso tenha sido causado pela redução da A_f e da W_t de igual magnitude nas plantas estressadas, muito embora essas reduções tenham sido drásticas em comparação com as das plantas túrgidas. As curvas da F_A , assim como as da R_w , declinam com a ontogenia, em todos os tratamentos, indicando um aumento de queda de folhas (Scott & Batchelor 1979), aparecimento de tecidos não-assimilatórios e, principalmente, vagens e sementes que competem decisivamente com as estruturas vegetativas pelos assimilados produzidos (Williams 1946, Kvet et al. 1971). Tendência semelhante já foi encontrada (Lopes et al. 1982, Almeida 1985, Lopes et al. 1986).

A razão de área foliar (F_A) tem como componentes a razão de peso foliar (F_w) e a área foliar específica (S_A) (Radford 1967, Kvet et al. 1971). A razão de peso foliar apresentou altos valores, aproximadamente aos 30 dias após a emergência, em razão da grande quantidade de fotoassimilados instalados nas folhas (Fig. 9). A partir da fase de pré-florescimento (35º dia após a emergência), os valores

da F_w decresceram, rapidamente, até o final do ciclo da cultura. Genericamente, não houve diferenças significativas de F_w entre os dois regimes hídricos e as doses de nitrogênio, exceto nas plantas que sofreram estresse hídrico cíclico e foram tratadas com 50 ppm de N, pois apresentaram tendência diferente das demais (Fig. 9B). O déficit hídrico reduziu em igual magnitude tanto o peso das folhas como o peso total das plantas; portanto, a razão $W_f : W_t$ é pouco influenciada pelo fator água.

A área foliar específica (S_A) representa a razão entre a área foliar (A_f) e a matéria seca foliar (W_f) (Fig. 10). A S_A aumentou com o aumento da dose de N, em ambos os regimes hídricos. Esse aumento, provavelmente, ocasiona alta razão superfície/volume no interior da folha (Dornhoff & Shibles 1970), resultando, possivelmente, na redução da resistência do mesófilo ao fluxo de CC_2 (Nobel et al. 1975) e na formação de maiores taxas fotossintéticas (Pearce et al. 1969, Dornhoff & Shibles 1970). As plantas crescidas em solos na capacidade de campo e com 200 ppm de N apresentaram maiores S_A que as plantas com déficit hídrico, e isto se deve ao fato de que plantas estressadas sofreram grande redução tanto na taxa de expansão foliar quanto no acúmulo de matéria seca foliar. Isto parece lógico, já que a queda ou morte das folhas é uma adaptação morfológica ao

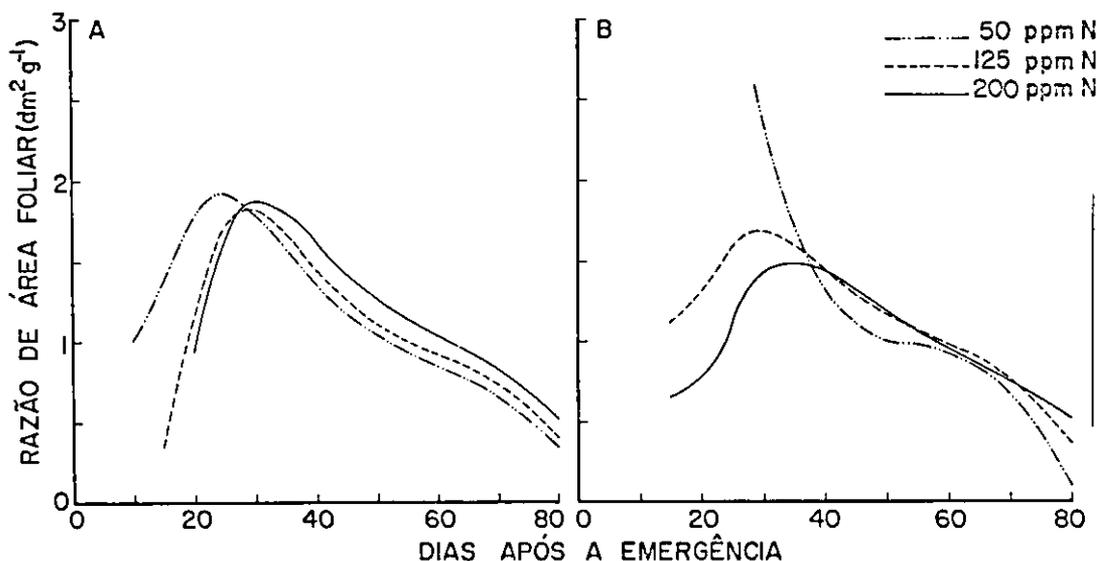


FIG. 8. Razão de área foliar do feijoeiro submetido a três doses de nitrogênio e dois regimes hídricos (A = capacidade de campo; B = estresse hídrico).

déficit hídrico, limitando a superfície evaporativa, retardando o desenvolvimento de futuros estresses (Turner & Begg 1978 e 1981). A S_A decresceu du-

rante a fase de crescimento vegetativo; o que indica que as folhas não se expandem às mesmas taxas, quando o crescimento progride (Scott & Batchelor

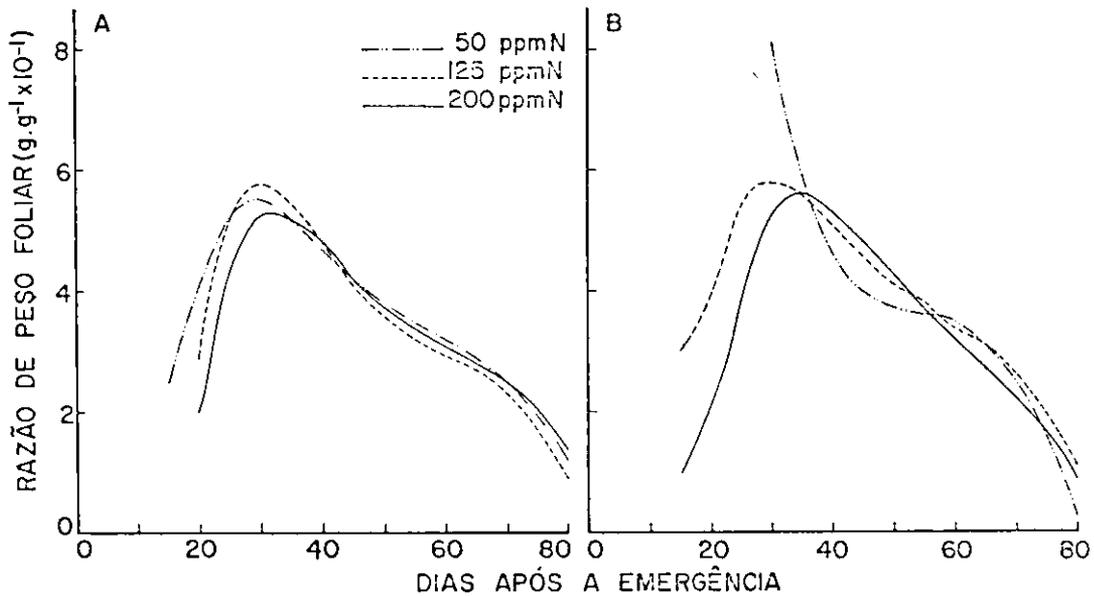


FIG. 9. Razão de peso foliar do feijoeiro submetido a três doses de nitrogênio e dois regimes hídricos (A = capacidade do campo; B = estresse hídrico).

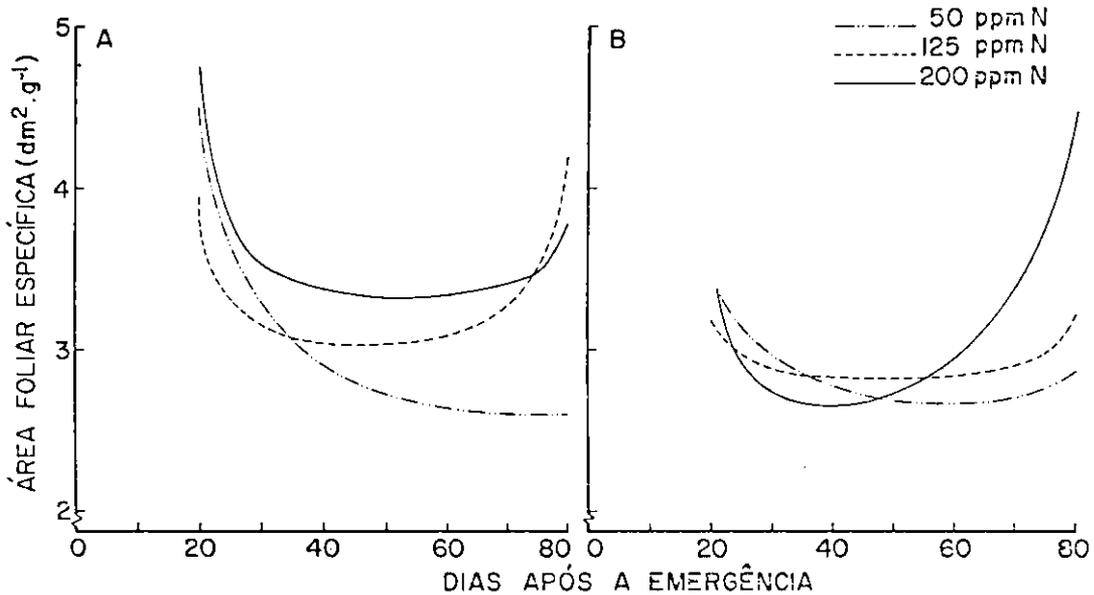


FIG. 10. Área foliar específica do feijoeiro submetido a três doses de nitrogênio e dois regimes hídricos (A = capacidade de campo; B = estresse hídrico).

1979). Ao final do ciclo da cultura, verifica-se um aumento de S_A em todos os tratamentos, provavelmente por causa da aceleração na senescência foliar sem a abscisão foliar, o que proporcionou uma redução na W_f sem sua idêntica redução na A_f . Durante a senescência da folha, os metabólitos são translocados para outras partes, através de floema, diminuindo a matéria seca da folha (Wareing & Phillips 1981).

A eficiência da conversão da energia solar (ξ) aumentou em plantas mantidas em solo na capacidade de campo, e os maiores índices foram encontrados nos tratamentos com 125 e 200 ppm de nitrogênio (Fig. 11). O déficit hídrico diminuiu, drasticamente, a eficiência de conversão da energia solar, por apresentar baixos valores de C_t em relação aos das plantas mantidas em solo na capacidade de campo. Essa mesma redução foi encontrada por Lopes et al. (1986). Os valores médios de ξ foram 0,81; 1,08; 1,13 e 0,34; 0,47 e 0,57% para plantas túrgidas e estressadas, respectivamente, em ordem crescente de doses de N. O valor máximo de ξ foi de 2,62%, obtido no 50º dia após a emergência em plantas mantidas em solo na capacidade de campo, com 125 e 200 ppm de N (Fig. 11A). Resultados semelhantes foram encontrados por Lopes et al. (1986) em casa de vegetação.

Em plantas que sofreram déficit hídrico, o valor máximo de ξ foi de 1,42% obtido no 35º dia após a emergência e tratamento com 50 ppm de N (Fig.

11B). Observando os valores médios de ξ , verificou-se um aumento de ξ com o incremento das doses de N, provavelmente decorrente da maior eficiência fotossintética que proporcionou maiores C_t (Fig. 2). Com o envelhecimento do tecido foliar, há um declínio na eficiência fotossintética, pela inversão de prioridades no metabolismo (Lopes et al. 1982, Almeida 1985, Lopes et al. 1986).

CONCLUSÕES

1. Todos os parâmetros fisiológicos de crescimento determinados foram mais influenciados pela água do que pelo N, embora dose elevada desse elemento tenha minimizado o efeito do déficit hídrico, provocando maior endurecimento dessas plantas, ocasionado pelo maior desenvolvimento das raízes.

2. O decréscimo das taxas de produção de matéria seca pelo déficit hídrico, independentemente do N, deveu-se às reduções principalmente na área foliar.

3. As taxas de crescimento de área foliar absoluta e relativa foram maiores nas plantas túrgidas, onde as doses de N influenciaram gradativamente esse aumento.

4. A taxa de crescimento relativo, a razão de área foliar e a razão de peso foliar decresceram com a ontogenia da planta em ambos regimes hídricos, independentemente do nível de N. Entretanto, a área foliar específica aumentou com o incremento da dose de N, em ambos os regimes hídricos.

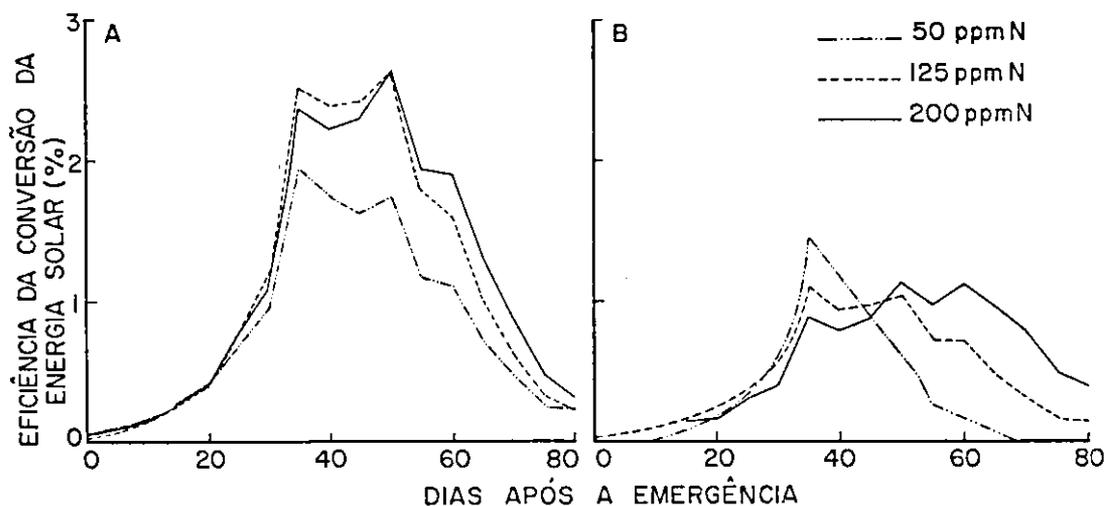


FIG. 11. Eficiência da conversão da energia solar do feijoeiro submetido a três doses de nitrogênio e dois regimes hídricos (A = capacidade de campo; B = estresse hídrico).

5. A eficiência da conversão da energia solar diminuiu com o déficit hídrico e aumentou com incremento do nível de N em ambos os regimes hídricos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) o suporte financeiro a este trabalho.

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. 'Negrito 897')**. Viçosa, UFV, 1985. 109p. Tese Mestrado.
- BOYER, J.S. Relationship of water potential to growth of leaves. *Plant Physiol.*, **43**:1056-62, 1968.
- BOYER, J.S. Water deficits and photosynthesis. In: KOZLOWSKI, T.T. ed. **Water deficits and plant growth**. New York, Academic Press, 1976. v.4, p.153-90.
- CLELAND, R. Extensibility of isolated cell walls: measurement and changes during cell elongation. *Planta*, **74**:197-209, 1967.
- COSTA, R.C.L. **Efeito de níveis de água e de doses de nitrogênio sobre o crescimento, morfologia, partição de assimilados e troca de CO₂ em *Phaseolus vulgaris* L.** Viçosa, UFV, 1986. 80p. Tese Mestrado.
- COSTA, R.C.L.; LOPES, N.F.; OLIVA, M.A.; BARROS, N.F. Efeito da água e do nitrogênio sobre a fotossíntese, respiração e resistência estomática em *Phaseolus vulgaris*. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, **23**(12):1371-79, 1988.
- DAVIES, W.J. & VOLKENBURGH, E. van. The influence of water deficit on the factors controlling the daily pattern of growth of *Phaseolus trifoliatu*s. *J. Exp. Bot.*, **34**:987-99, 1983.
- DORNHOFF, G.M. & SHIBLES, R.M. Varietal differences in net photosynthesis of soybean leaves. *Crop Sci.*, **10**:42-45, 1970.
- DOSS, B.D.; EVANS, C.E.; TURNER, J. Irrigation and applied nitrogen effects on snap beans and picking cucumbers. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, **102**:654-7, 1977.
- DUBETS, S. & MAHALLE, P.S. Effect of soil water stress on bush beans (*Phaseolus vulgaris* L.) at three stages of growth. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, **94**:479-81, 1969.
- EDJE, D.T.; MUGHOGHO, L.K.; AYONOADU, U.W.U. Responses of dry beans to varying nitrogen levels. *Agron. J.*, **67**:251-5, 1975.
- GALLO, J.R. & MIYASAKA, S. Composição química do feijoeiro e absorção dos elementos nutritivos do florescimento à maturação. *Bragantia*, **20**:867-84, 1961.
- HORNER, G.M. & MOJTEREDI, M. Yield of grain legumes as affected by irrigation and fertilizer regimes. *Agron. J.*, **62**:449-50, 1970.
- KVET, J.; ONDOCK, J.P.; NECAS, N.; JARVIS, P.F. Methods of growth analysis. In: SESTAK, Z.; CATSKY, J.; JARVIS, P.F. eds. **Plant photosynthetic production; manual of methods**. The Hague, D.W. JUNK, N.V. Publishers, 1971. p.343-91.
- LAWN, R.J. Response of four grain legumes to water stress in South-Eastern Queensland. III. Dry matter production, yield and water use efficiency. *Aust. J. Agric. Res.*, **33**:511-21, 1982.
- 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**:586-606, 1982.
- LOPES, N.F.; OLIVA, M.A.; CARDOSO, M.; GOMES, M.M.S.; SOUZA, V.F. Crescimento e conversão da energia solar em *Phaseolus vulgaris* L. submetidos a três densidades do fluxo radiante e dois regimes hídricos. *R. Ceres*, **33**:142-64, 1986.
- MARKHART, A.H. Comparative water relations of *Phaseolus vulgaris* L. and *Phaseolus acutifolius* Gray. *Plant Physiol.*, **77**:113-7, 1985.
- MILLAR, R.A. & GARDNER, W.R. Effect of soil and plant water potentials of the dry matter production of snap beans. *Agron. J.*, **64**:559-61, 1972.
- MILTHORPE, F.L. & MOORBY, J. **An introduction to crop physiology**. s.l., Cambridge University Press, 1974. p.202.
- 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, P.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 Press, 1969. p.3-76.
- SCOTT, H.D. & BATCHELOR, J.T. Dry weight and leaf area production rates of irrigated determinate soybeans. *Agron. J.*, **71**:776-82, 1979.
- SMITTLE, D.A. Response of snap bean to irrigation, nitrogen fertilization, and plant population. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, **101**:37-40, 1976.
- TESHA, A.J. & ECK, P. Effect of nitrogen rate and water stress on growth and water relations of young sweet-corn plants. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, **108**:1049-53, 1983.
- TIMPO, E.E. & NEYRA, C.A. Expression of nitrate and nitrite reductase activities under various forms of

- nitrogen nutrition in *Phaseolus vulgaris* L. **Plant Physiol.**, **72**:71-5, 1983.
- TURNER, N.C. & BEGG, J.E. Response of pasture plants to water deficits. In: WILSON, J.R. ed. **Plant relation in pasture**. Melbourne, CSIRO, 1978. 50-66p.
- TURNER, N.C. & BEGG, J.E. Plant-water relations and adaptation to stress. **Plant Soil**, **56**:97-131, 1981.
- 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. & PHILLIPS, I.D.J. **Growth and differentiation in plants**. 3.ed. New York, Pergamon Press, 1981. 343p.
- WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. **Adv. Agron.**, **4**:101-45, 1952.
- WATSON, D.J. The dependence of net assimilation rate on leaf area index. **Ann. Bot.**, **22**:37-54, 1958.
- WILLIAMS, R.F. The physiology of plant growth with special reference to the concept of net assimilations rate. **Ann. Bot.**, **10**:41-72, 1946.