

CRESCIMENTO E CONVERSÃO DA ENERGIA SOLAR EM *Phaseolus vulgaris* L. EM FUNÇÃO DA FONTE DE NITROGÊNIO¹

Rafael Reyes Cuesta²
Nei Fernandes Lopes³
Marco Antonio Oliva³
Avelio Antônio Franco⁴

1. INTRODUÇÃO

O feijoeiro pode obter o nitrogênio da atmosfera ou do solo, quando estabelece a simbiose com *Rhizobium* spp. A fixação simbiótica do dinitrogênio em feijão pode suprir a demanda da planta, principalmente até a época da floração, contribuindo grandemente no período de crescimento vegetativo (7).

A produção de matéria seca de uma planta ou da cultura está relacionada com a área foliar e a taxa assimilatória líquida. O nitrogênio é importante para o desenvolvimento da área foliar, e em plantas de feijoeiro crescido sob adequadas condições ambientais incrementa a taxa de produção de matéria seca (2,5). Em feijoeiro, a taxa fotossintética é reduzida pela deficiência de nitrogênio (3) e incrementada pelo aumento no teor de N foliar (14).

O presente trabalho tem por objetivo analisar os efeitos da fonte de

¹ Aceito para publicação em 04.01.1995.

² Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Centro de Investigacion El Mira, Apartado Aéreo 161, Tumaco-Nariño, Colombia.

³ Departamento de Biologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa. 36571-000 Viçosa, MG.

⁴ Centro Nacional de Pesquisa de Biologia do Solo, EMBRAPA, Seropédica. 23851-970 Itaguaí, RJ

N, mineral ou atmosférico, sobre o crescimento e a conversão da energia solar nos cultivares Negro Argel e Negrito 897, durante todo o ciclo da cultura.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Plantas de *Phaseolus vulgaris* L. Cvs. Negro Argel e Negrito 897 foram cultivadas em casa de vegetação, em Viçosa (MG), em vasos plásticos não-perfurados, com capacidade para cinco quilogramas, contendo um Latossolo Vermelho-Amarelo álico (LVa), de textura argilosa e baixa fertilidade. Este substrato foi fertilizado com 200 mg de P/kg de solo na forma de superfosfato simples e 100 mg de k/kg de solo na forma de cloreto de potássio, e corrigido com calcário dolomítico (2 g/kg). O solo foi esterilizado com brometo de metila por 72 horas e semeado após a eliminação completa do gás.

Antes da semeadura, todas as sementes foram desinfectadas com hipoclorito de sódio, a 3%, durante 10 minutos, e lavadas com água destilada, processo repetido por sete vezes. Foram semeadas cinco sementes por vaso, deixando-se duas plantas por vaso depois do desbaste, executado seis dias após a emergência (DAE) das plântulas.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas. As parcelas corresponderam às épocas de colheita, as subparcelas aos cultivares e as subsubparcelas ao tratamento (inoculação com rizóbio ou fertilização nitrogenada), com três repetições. A unidade experimental foi constituída de duas plantas por vaso.

Os tratamentos consistiram da inoculação das sementes com duas estirpes de *Rhizobium* sp. (CNPAB BR-281 = IPAGRO SEMIA 487 e CNPAB BR-10008 = CPAC H 20) e duas de *R. tropici* (CNPAB BR-322 = CIAT 899 e CNPAB BR-266 = CENA C-05 II), cultivadas em meio líquido, procedentes do CNPAB/EMBRAPA. As sementes foram embebidas no meio de cultura contendo a estirpe específica de *Rhizobium* spp. durante duas horas antes da semeadura, enquanto os de fertilização corresponderam aos níveis de 30 e 60 mg de N/kg de solo, na forma de NaNO_3 , aplicados metade no plantio e a outra em cobertura 25 DAE.

Soluções de micronutrientes de WAUGH e FITTS (21) foram adicionadas (300 ml por vaso) em todos os tratamentos, aos 10, 20, 30 e 40 DAE. O solo foi mantido com umidade próxima à máxima capacidade de retenção de água durante o experimento. Também foi pulverizado Karathane P.M. (0,5 g/l) para controle de míldio pulverulento (*Oidium erysiphoides* Fr.).

Durante todo o ciclo da cultura foram realizadas oito colheitas do

material vegetal, a intervalos regulares de 10 dias após a emergência, para obtenção dos dados primários. A matéria seca de todos os órgãos foi obtida em estufa de ventilação forçada, à temperatura de 75°C, onde permaneceram até peso constante. A área foliar foi determinada por meio de um integrador fotoelétrico de área.

Os dados primários de matéria seca total (W_t) e área foliar (A_f) foram submetidos a análise de variância. A partir dos valores de W_t foram ajustadas curvas logísticas de crescimento, $W_t = W_m / (1 + Be^{-Ct})$, em que W_m é a estimativa assintótica do crescimento máximo, B e C constantes de ajustamento, e t o tempo em dias após a emergência. Regressão curvilínea de A_f , acumulada em cada coleta, foi efetuada com emprego de polinômios ortogonais.

A partir dos valores instantâneos de A_f e W_t foram calculadas as demais características de crescimento. A eficiência de conversão da energia solar (ϵ) foi calculada por $\epsilon\% = (100 \cdot C_t \cdot \sigma) / R_a$, em que C_t representa a taxa de produção de matéria seca, o valor calorífico (σ) utilizado foi o de 3.800 cal . g⁻¹, determinado para feijão por Pflanz (1994) e citado por KVET *et alii* (10), e R_a , o valor médio diário da radiação solar incidente, em cal . vaso⁻¹ . dia⁻¹, registrada nos cinco dias anteriores ao C_t correspondente. A radiação solar incidente dentro da casa de vegetação foi medida por meio de um solarímetro Kipp-Zonen, modelo CM5, acoplado a um milivoltímetro registrador.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O acúmulo da matéria seca total (W_t) dos dois cultivares (Figura 1) apresentou três fases distintas, de duração similar para as plantas de todos os tratamentos, caracterizadas por uma fase inicial anterior à floração, de crescimento lento; uma intermediária de crescimento acelerado, do início da floração até o início do período de enchimento de legumes (32 aos 54 DAE); e uma fase final de crescimento lento, do enchimento de legumes à maturação, aproximando-se de um patamar.

Os valores de W_t das plantas suplementadas com N-NO₃ foram maiores aos das inoculadas, na fase reprodutiva, e com doses crescentes de N ao final do ciclo, sendo o efeito mais marcado em Negro Argel (Figura 1). Observaram-se valores similares de W_t para as plantas inoculadas de Negro Argel (Figura 1A), e pequenas diferenças nas de Negrito 897 (Figura 1B), durante a maior parte do ciclo. Entretanto, os maiores valores foram apresentados pelas plantas inoculadas com a estirpe BR-266 no cultivar Negro Argel ao final do ciclo. Apesar das diferenças nos valores absolutos de W_t , estas não foram estatisticamente significativas para tratamentos. Incrementos de W_t em feijão decorrente da adubação

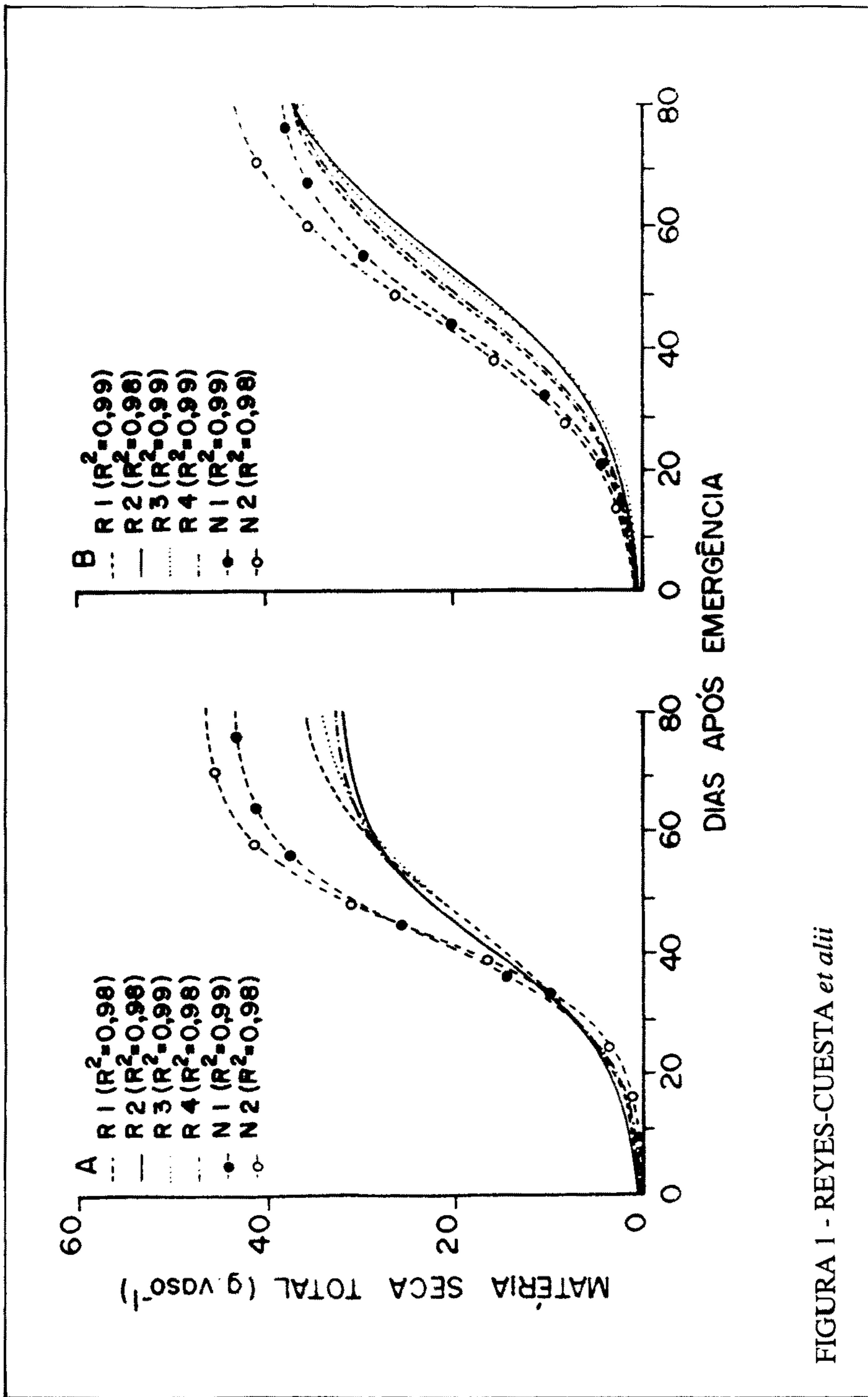


FIGURA 1 - REYES-CUESTA et alii

nitrogenada foram observados por CABALLERO *et alii* (4) e ALMEIDA *et alii* (1).

As diferenças em W_t entre tratamentos (Figura 1) foram devidas, principalmente, ao comportamento das taxas de produção de matéria seca (C_t) (Figura 2) e de crescimento relativo (R_w) (Figura 3) das plantas de cada tratamento, influenciadas pela fonte de N, dose de N-NO₃ e eficiência da simbiose estabelecida nas plantas inoculadas (17). Estudos em ambiente controlado indicam que leguminosas suplementadas com nitrato produzem de 13 a 28% mais matéria seca por unidade de fotoassimilado que as plantas dependentes da fixação de N₂ (8,15); no entanto, esta vantagem nem sempre é expressa em culturas no campo (8). As plantas que adquirem seu N da fixação simbiótica têm maior custo de carbono por unidade de N assimilado que as que o tomam de outra fonte, pelo gasto extra de crescimento e manutenção do tecido nodular (8, 15).

Os valores máximos da taxa de acúmulo da matéria seca total (C_t) foram obtidos na etapa de formação de legumes para as plantas do cultivar Negro Argel (Figura 2A), e nas etapas de formação e enchimento de legumes para as do Negrito 897 (Figura 2B). Os maiores valores de C_t , em ambos os cultivares, foram obtidos nas plantas suplementadas com N-NO₃. Negro Argel apresentou maiores valores e amplitude de curvas de C_t que o Negrito 897 (Figura 2). Incrementos de C_t para doses crescentes de nitrogênio têm sido encontrados em outros trabalhos com feijão (2, 5). Enquanto PATE *et alii* (15) observaram taxas de produção de matéria seca (C_t) e assimilação de N similares, para plantas de *Lupinus albus* L., não-noduladas dependentes de N-NO₃ mineral e noduladas dependentes de N₂ atmosférico.

As diferentes magnitudes de C_t , entre os tratamentos e as épocas de C_t máximos (Figura 2), foram devidas aos maiores valores de A_f e de E_A , nas plantas fertilizadas com N-NO₃ de Negro Argel (Figuras 4A e 5A), e aos maiores valores de E_A nas inoculadas de Negrito 897 (Figuras 5B). Em feijoeiro, geralmente o C_t aumenta, até certo ponto, com o desenvolvimento de A_f (12), enquanto excessos de A_f reduzem E_A drasticamente, resultando em decréscimo de C_t (12, 19). As plantas de Negro Argel, inoculadas com as estirpes BR-266 e BR-322, e as inoculadas com Negrito 897, apresentaram retardo mínimo de dois dias para atingir C_t máximos em relação às fertilizadas (Figura 2). O que indica que essas plantas prolongaram o período de taxas crescentes de acúmulo de matéria seca.

Os maiores valores da taxa de crescimento relativo (R_w) ocorreram nas etapas iniciais de crescimento, decrescendo com a idade das plantas, mas sempre com valores positivos (Figura 3). Comportamentos similares de R_w em feijão foram descritos por vários autores (2, 11, 12). O

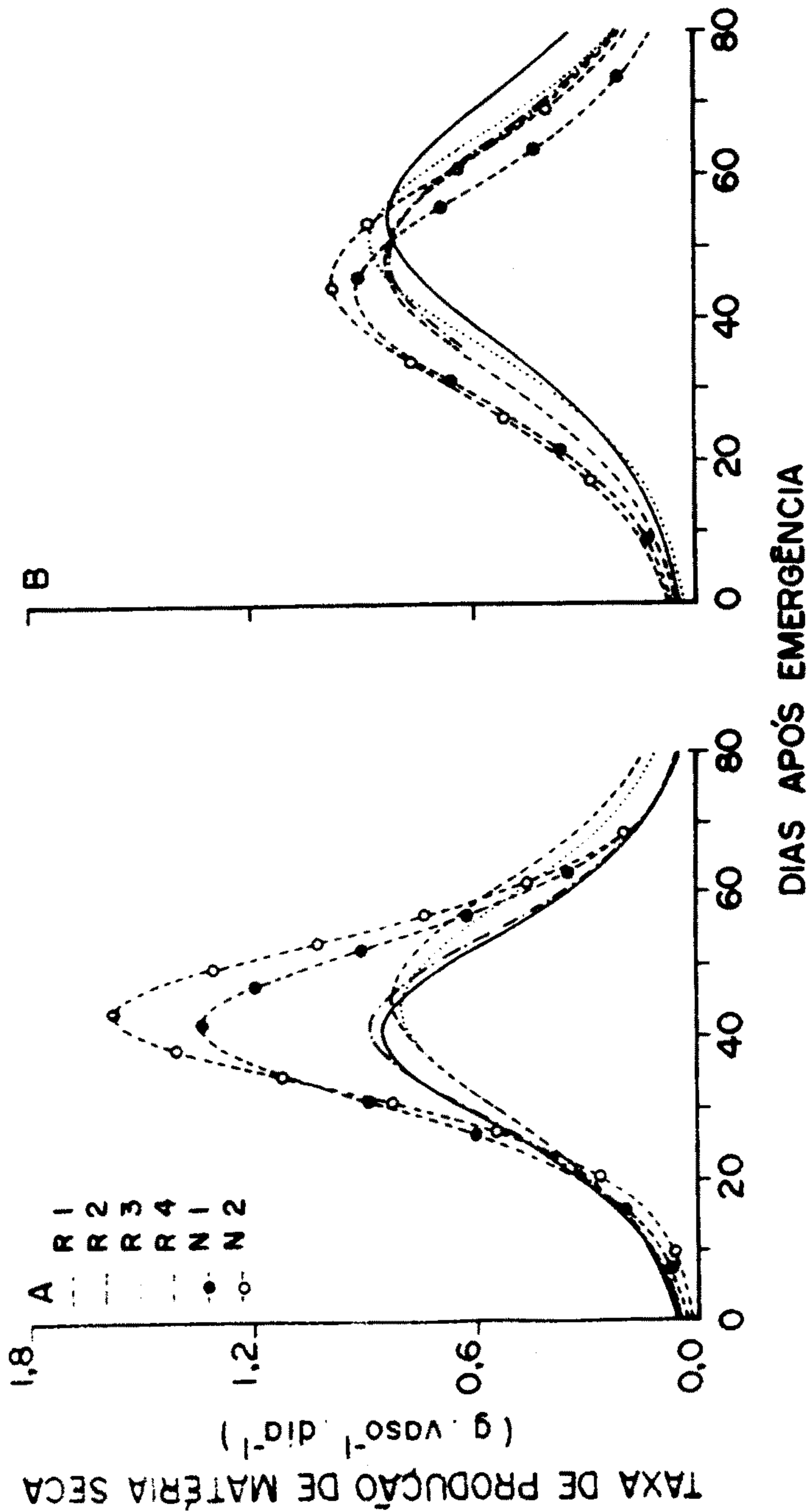


FIGURA 2 - REYES-CUESTA et alii.

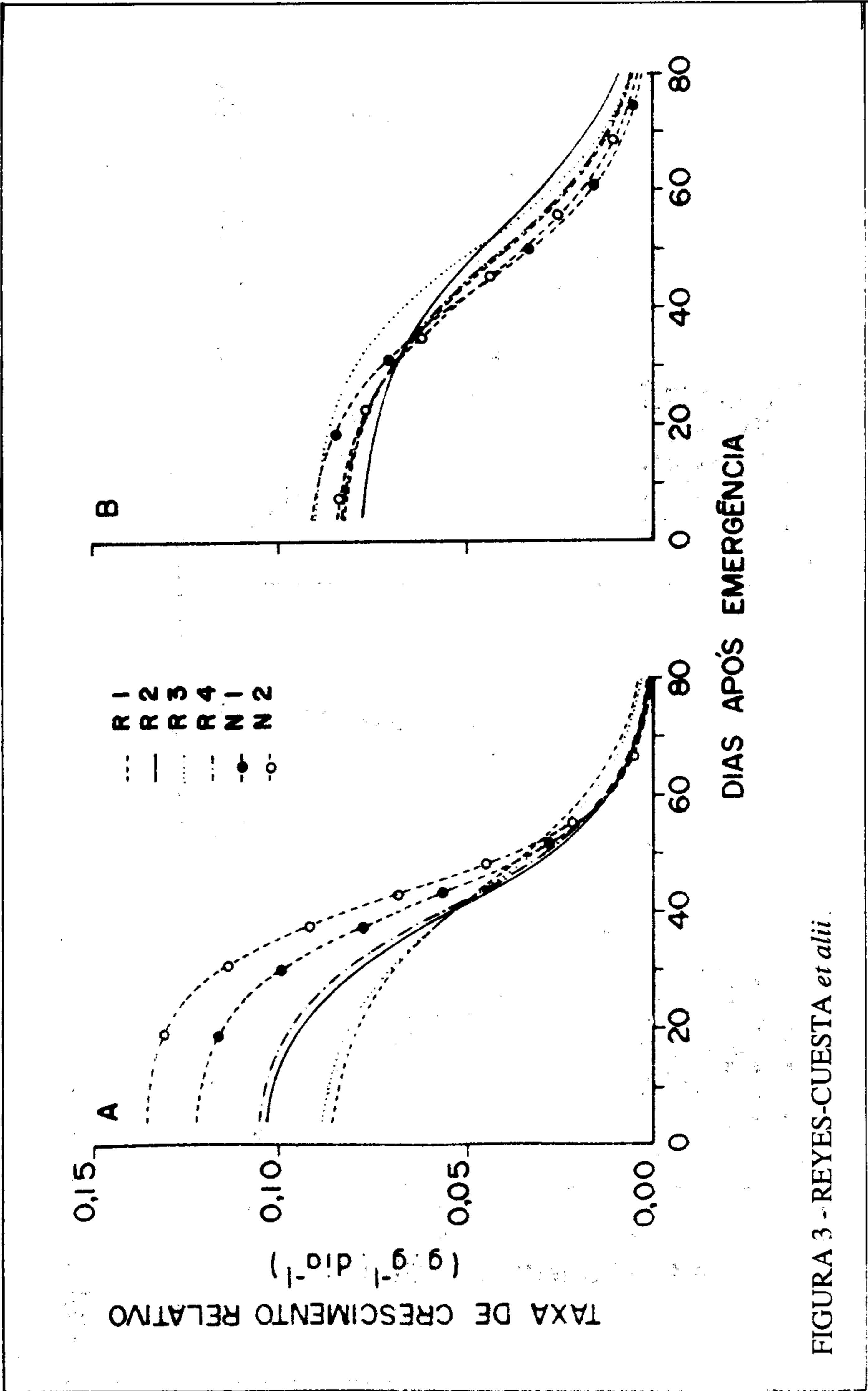


FIGURA 3 - REYES-CUESTA et alii.

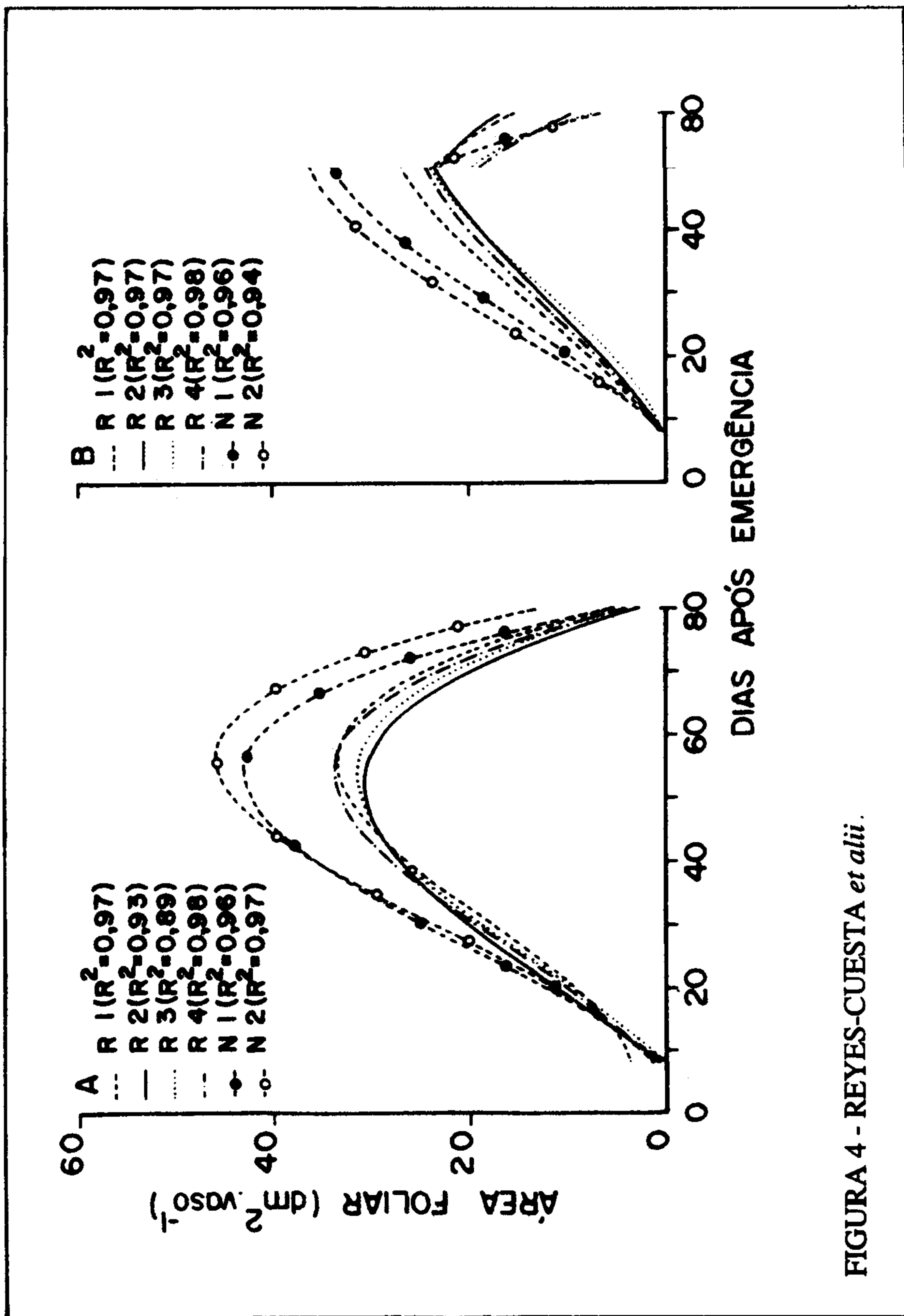


FIGURA 4 - REYES-CUESTA et alii.

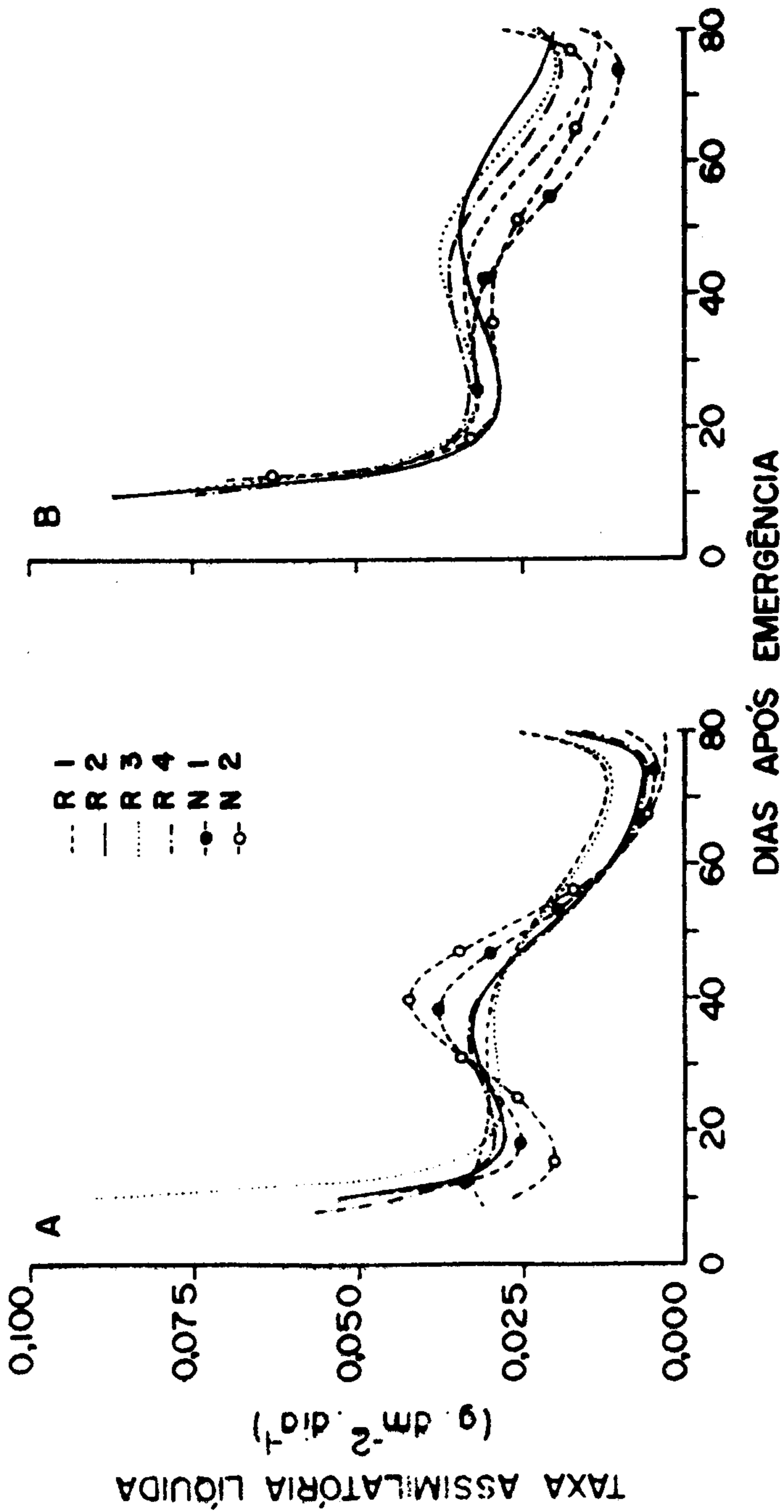


FIGURA 5 - REYES-CUESTA *et alii*

decréscimo de R_w com a idade da planta é resultado, em parte, do aumento gradativo de tecidos não-fotossintetizantes com a ontogenia da planta (10, 12).

Os maiores valores de R_w ocorreram nas plantas de Negro Argel, adubadas com N-NO₃, seguidas das inoculadas com as estirpes BR-10008 e BR-281 (Figura 3A), sendo compatíveis com os comportamentos de E_A (Figura 5A) e F_A (Figura 6A). As diferenças que ocorrem e surgem em R_w são devidas às variações genéticas e aos componentes F_A e E_A , influenciadas pelo ambiente e por mudanças no estado de desenvolvimento da planta, podendo as diferenças em R_w serem explicadas em termos das interações de seus componentes.

No cultivar Negro Argel foram observadas diferenças marcantes de R_w entre plantas fertilizadas com N e inoculadas, da emergência até a formação de legumes (45 DAE). Posteriormente, os valores de R_w foram similares (Figura 3A). As plantas de Negro Argel, suplementadas com doses crescentes de N, apresentaram os maiores valores de R_w (Figura 3A) e, portanto, maiores biomassas (Figura 1A), confirmando que alta produção biológica deve resultar de altos R_w (20). Entretanto, dentre as inoculadas, as estirpes BR-10008 e BR-281 mostraram os maiores valores de R_w .

Não houve diferenças marcantes de R_w entre plantas de Negrito 897 fertilizadas com N ou inoculadas. No entanto, os maiores valores de R_w foram apresentados pelas inoculadas com BR-322, durante grande parte do ciclo (Figura 3B), e pelas suplementadas com 30 mg de N/kg de solo, até o início da fase reprodutiva. Aumentos de R_w com doses crescentes de N foram observados para feijão cv. Negrito 897, em condições de campo (2). Plantas de rápido crescimento e altos R_w têm elevadas concentrações de N-orgânico, por unidade de peso da planta, obrigando-as a absorver mais nitrato que as espécies de lento crescimento e baixo R_w (16).

O R_w de Negro Argel (Figura 3A) mostrou ser mais influenciado por F_A (Figura 6A) que por E_A (Figura 5A). Entretanto, em Negrito 897, E_A (Figura 5B) teve maior efeito sobre R_w (Figura 3B) que F_A (Figura 6B). A contribuição relativa de F_A e E_A para R_w varia com o estado fisiológico do desenvolvimento da planta. Existe uma correlação positiva entre R_w e a taxa de fotossíntese, expressa por unidade de matéria seca da folha (16).

As plantas fertilizadas com N, nas duas variedades, apresentaram os maiores valores de A_f , a partir do início da fase reprodutiva (Figura 4), etapa de maior demanda de N em feijão. Porém, nos estádios finais da fase de maturação do Negrito 897 (Figura 4B), os valores de A_f das plantas inoculadas foram similares ou, inclusive, maiores que os das plantas fertilizadas, apresentando decréscimo de A_f menos pronunciado (Figura

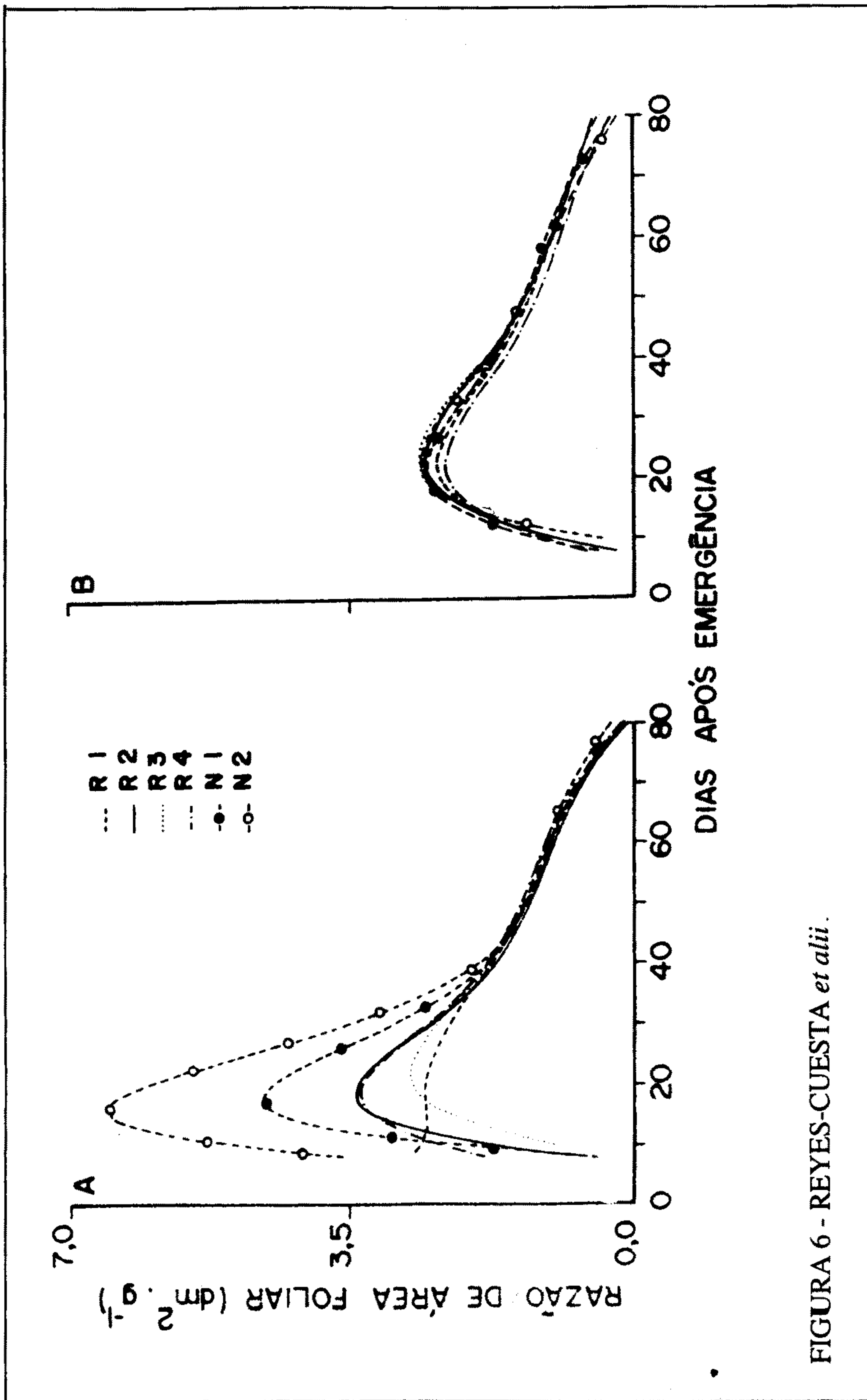


FIGURA 6 - REYES-CUESTA et alii .

4B), concordando em parte com a característica de suave decréscimo de A_f nas etapas finais do ciclo, indicadas para este cultivar (2). A produção biológica em plantas é mais relacionada com a duração que com o tamanho da área foliar.

Houve declínio em A_f ao redor dos 60 a 65 DAE, estágio final da etapa de enchimento de legumes, quando a taxa de senescência das folhas sobrepujou a taxa de emissão de novas folhas, fato também observado por outros autores (11, 12).

Os valores máximos de A_f foram obtidos na fase de enchimento de legumes em ambos os cultivares, com a dose de 60 mg de N/kg de solo (Figura 4), e com as inoculadas com as estirpes BR-266 e BR-10008 em Negro Argel (Figura 4A) e BR-266 para Negrito 897 (Figura 4B). Altos suprimentos de N, usualmente, aumentam o crescimento da folha, afetando as taxas de expansão foliar.

Os maiores valores de A_f das plantas adubadas com N, em ambos os cultivares, podem ser o resultado do maior número de folíolos, durante grande parte do ciclo (17), aliados a maiores taxas de crescimento de área foliar. Possivelmente isto ocorreu em virtude da maior disponibilidade de N, nas fases iniciais do desenvolvimento, nas plantas adubadas em relação às dependentes da fixação de N.

A taxa assimilatória líquida (E_A) mostrou maiores valores nas etapas iniciais do desenvolvimento, fase vegetativa, e decréscimo de todo o ciclo da cultura, verificando-se um surto de elevação de E_A nas etapas de floração e início de formação de legumes (35 a 45 DAE) (Figura 5). Comportamento semelhante de E_A em feijoeiro tem sido encontrado por COSTA *et alii* (5). O decréscimo de E_A com a idade da planta se deve ao aumento do autossombreamento e da senescência foliar e do decréscimo da capacidade fotossintética com a idade das folhas.

O incremento em E_A , apresentado durante as etapas de floração e formação de legumes, foi também observado em soja (9, 13), provavelmente é causado pelo rápido crescimento das sementes, o que origina maior demanda de assimilados, causando aumento na fotossíntese (9).

Os maiores valores de E_A foram observados para as plantas de Negro Argel adubadas com N-mineral, durante as etapas de floração a início de enchimento de legumes (30 a 50 DAE) (Figura 5A). Enquanto os maiores valores de E_A para Negrito 897 foram obtidos nas plantas inoculadas, durante todo o ciclo, a partir da fase de formação de legumes (40 DAE) (Figura 5B). Este comportamento de E_A foi, possivelmente, em virtude do maior teor de proteína bruta foliar, durante estes períodos (17), aliados à maior área foliar das plantas adubadas de Negro Argel (Figura 4A), e ao decréscimo menos acentuado de A_f das inoculadas de Negrito

897 (Figura 4B).

A razão de área foliar (F_A) aumentou durante a fase vegetativa (20 DAE), em ambas variedades, declinando nas etapas posteriores do desenvolvimento (Figura 6). A tendência das curvas de F_A , de incremento na fase vegetativa e declínio na reprodutiva, é em virtude, inicialmente, da utilização preferencial dos assimilados para a formação de folhas e, posteriormente, da mobilização e do uso na formação das estruturas reprodutivas. Tanto R_w (Figura 3) quanto F_A (Figura 6) decrescem à medida que as plantas envelhecem, em virtude da queda de folhas, do aparecimento de tecidos não-fotossintetizantes e dos órgãos reprodutivos, como legumes e sementes, que competem com as estruturas vegetativas pelos assimilados produzidos (12). O cv. Negro Argel apresentou maiores valores de F_A que o cv. Negrito 897 (Figura 6).

Os valores máximos de F_A foram atingidos entre 18 e 23 DAE, para Negro Argel e Negrito 897, respectivamente. A época de obtenção dos valores máximos concorda com o relato de WALLACE e MUNGER (19), que encontraram F_A máximos antes dos 30 DAE em todas as variedades de feijão testadas. Diferenças nos valores máximos de F_A foram obtidas entre tratamentos no cultivar Negro Argel (Figura 6A), e em Negrito 897 não houve essa discriminação (Figura 6B). As plantas de Negro Argel, suplementadas com doses crescentes de N e as inoculadas com as estirpes BR-281 e BR-10008 apresentaram os maiores F_A máximos (Figura 6A). Negro Argel, na fase reprodutiva, e Negrito 897, em todo o ciclo, apresentaram valores similares de F_A para todos os tratamentos (Figura 6). Aumentos de F_A com o incremento da dose de N em plantas de feijão cv. Negrito 897, em condições de casa de vegetação, foram obtidos por COSTA *et alii* (5).

A eficiência de conversão da energia solar (ϵ) mostrou curvas irregulares (Figura 7), com valores crescentes até a floração para Negro Argel (Figura 7A) e de enchimento de legumes para Negrito 897 (Figura 7B), declinando posteriormente. Tendências similares de ϵ foram encontradas em outros trabalhos com feijoeiro (6, 12). O declínio de ξ observado em etapas avançadas da fase reprodutiva, provavelmente, é ocasionado 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 (11, 12). As curvas apresentaram irregularidades por causa das variações de ϵ , como resultado das flutuações diárias da radiação solar, ocasionadas pela freqüente nebulosidade diária na época do experimento, e das transformações morfológicas das plantas.

As plantas adubadas apresentaram os maiores valores de ξ até a fase de enchimento de legumes, em torno dos 55 DAE, em ambas as variedades

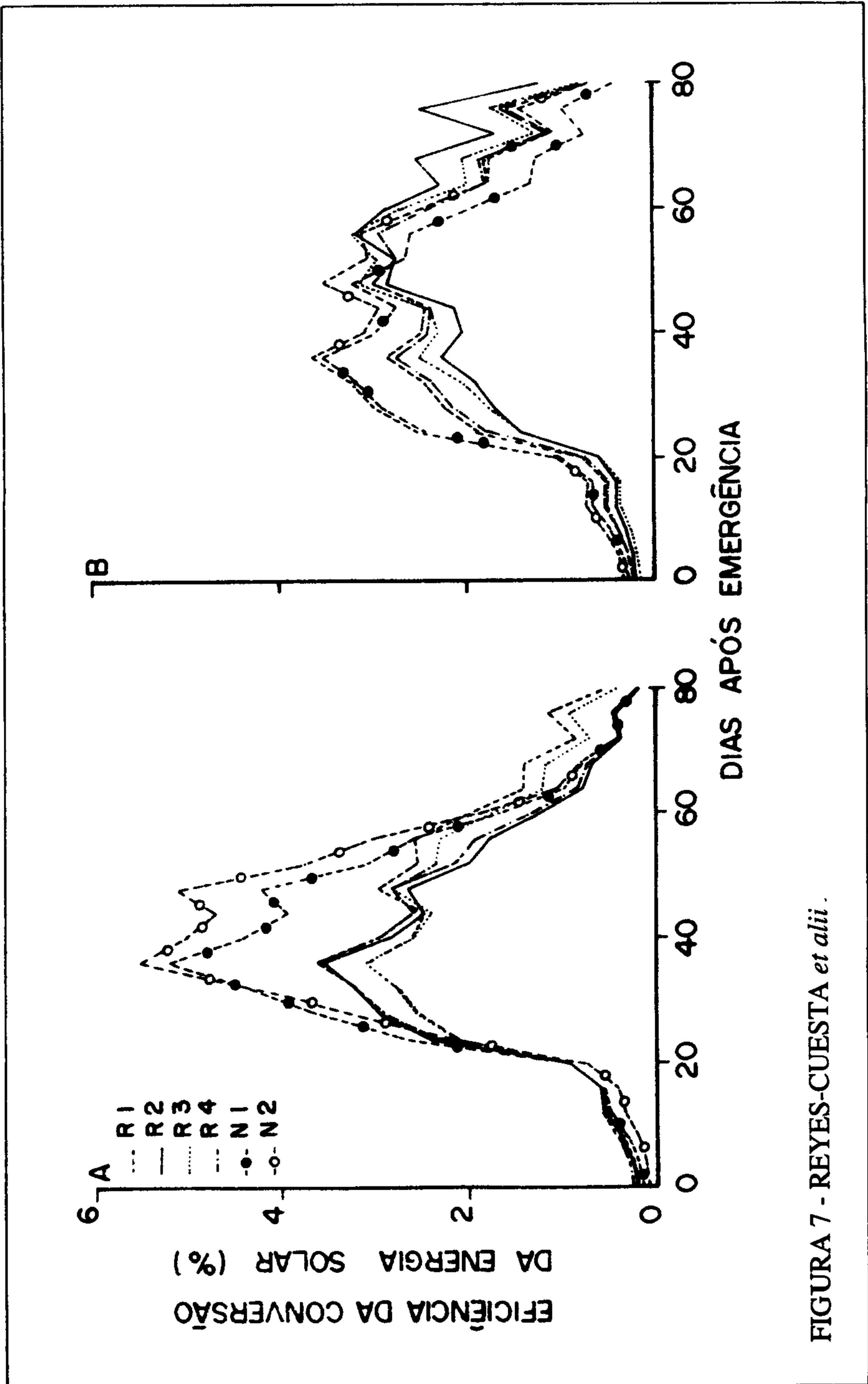


FIGURA 7 - REYES-CUESTA et alii .

(Figura 7). As plantas inoculadas, nas duas variedades, apresentaram valores de ϵ similares, ou superiores às adubadas com N-NO₃, nas etapas finais do ciclo. Os maiores valores de ξ para as inoculadas foram obtidos com as estirpes BR-266 e BR-322 em Negro Argel (Figura 7A) e BR-281 em Negrito 897 (Figura 7B). Em feijoeiro, aumentos de ϵ com o incremento das doses de N foram obtidos em condições de casa de vegetação (5) e de campo (2). Este efeito provavelmente ocorre por causa da maior eficiência fotossintética, originando maiores C_t nas plantas fertilizadas (Figura 2), como resultado do incremento da taxa fotossintética com o aumento da disponibilidade de N (3).

Os valores máximos de ϵ foram de 3,1; 3,6; 3,1; 3,6; 5,2; e 5,5% para Negro Argel, obtidos aos 36 DAE, etapa de floração; e de 3,1; 3,2; 3,2; 3,0; 3,5; e 3,6% para Negrito 897, obtidos aos 48, 56, 56, 48, 36, 36 DAE, nas etapas de floração e no enchimento de legumes, na seguinte ordem: BR-266, BR-281, BR-322, BR-10008, 30 e 60 mg/kg de solo (Figuras 6A e 6B). As etapas mais eficientes na utilização da radiação solar foram da floração ao enchimento de legumes, concordando com o encontrado por VIEIRA *et alii* (18).

O atraso mínimo de duas semanas para atingir os máximos ξ nas plantas inoculadas de Negrito 897, em relação às fertilizadas, deveu-se, provavelmente, a menores A_f (Figura 4B), que originaram menores C_t (Figura 2B) durante a fase vegetativa.

Os valores médios de ϵ foram 1,6; 1,6; 1,5; 1,5; 2,0; 2,1; e 1,7 para Negro Argel e 1,7; 1,6; 1,7; 1,7; e 1,9% para Negrito 897, na seguinte ordem: BR-266, BR-281, BR-322, BR-10008, 30 e 60 mg de N/kg de solo. Os maiores valores médios de ϵ foram para as plantas adubadas com N, enquanto as plantas inoculadas tiveram valores médios de ϵ similares, nas duas variedades. Estes resultados estão relacionados com a disponibilidade de N para as plantas. Assim, a disponibilidade de N reduzido influi, notoriamente, na eficiência de captação da energia solar em feijoeiro (2, 11, 19).

Os valores máximos e médios de ϵ , obtidos neste experimento, superam os alcançados com feijão cv. Negrito 897, em condições de casa de vegetação por COSTA *et alii* (5), em virtude da baixa radiação solar incidente apresentada durante a maior parte do ciclo da cultura, efeito também descrito por LOPES *et alii* (11).

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Os efeitos da fonte de nitrogênio, N-NO₃ (30 e 60 mg de N/kg de solo) ou fixação de N₂ por quatro estirpes de *Rhizobium* spp. (BR-266, BR-281, BR-322 e BR-10008), sobre o crescimento e a conversão da

energia solar, foram estudados em *Phaseolus vulgaris* L., cvs. Negro Argel e Negrito 897, em condições de casa de vegetação.

De modo geral, as características de crescimento foram reduzidas nas plantas dependentes de N₂, em relação às adubadas com N-NO₃, principalmente na fase vegetativa, sem traduzir-se em diferenças significativas na produção. No entanto, as plantas inoculadas apresentaram taxas de crescimento similares ou maiores que as adubadas nas etapas finais do ciclo.

A eficiência de conversão de energia solar foi maior nas plantas adubadas com N-NO₃, enquanto as inoculadas apresentaram maiores índices de colheita.

As associações simbióticas testadas mostraram capacidade potencial de suprir os requerimentos de nitrogênio, destacando-se as combinações de Negro Argel com a estirpe BR-266 e de Negrito 897 com a BR-10008.

5. SUMMARY

(GROWTH AND SOLAR ENERGY CONVERSION IN *Phaseolus vulgaris* L. AS A FUNCTION OF NITROGEN SOURCE)

Growth and solar energy conversion efficiency were studied in *Phaseolus vulgaris* L., cvs. Negro Argel and Negrito 897, as a function of nitrogen source, using two rates of N-NO₃ (30 and 60 mg of N/kg of soil) or N₂-fixation by four strains of *Rhizobium* spp. (BR-266, BR-281, BR-322 e BR-10008), under greenhouse conditions.

In general, all growth characteristics were decreased in N₂-dependent plants as compared to the ones fertilized with mineral N. This effect was more prominent during the vegetative phase, but no significant differences in yield were detected. On the other hand, inoculated beans produced similar or higher growth rates than the fertilized plants in final phases of the cycle.

The efficiency of solar energy conversion was higher in N-NO₃ fertilized plants. However, the inoculated beans showed higher harvest index than the fertilized ones.

The symbiotic associations tested showed a great potential capacity to supply the nitrogen requirements of bean plants, especially the combinations of cv. Negro Argel with BR-266 and cv. Negrito 897 with BR-10008 strains.

6. LITERATURA CITADA

1. ALMEIDA, A. A. F.; LOPES, N. F.; OLIVA, M. A. & BARROS, R. S. Desenvol-

- vimento e partição de assimilados em *Phaseolus vulgaris* submetido a três doses de nitrogênio e três níveis de luz. *Pesq. Agropec. Bras.*, 23:837-847, 1988.
2. ALMEIDA, A. A. F.; LOPES, N. F.; OLIVA, M. A. & BARROS, R. S. Doses de nitrogênio e densidades de luz no crescimento do feijoeiro e na conversão da energia solar. *Pesq. Agropec. Bras.*, 23:849-859, 1988.
 3. ANDREEVA, T. F.; AVDEEVA, T. A.; VLASOVA, M. P.; NGUYEN, T. T. & NICHIPOROVICH, A. A. Effect of nitrogen nutrition on the structure and function of the photosynthetic apparatus in plants. *Soviet Plant Physiol.*, 18:591-597, 1971.
 4. CABALLERO, S. U.; LIBARDI, D. L.; REICHARDT, K.; MATSUI, E. E. & VICTORIA, R. L. Utilização do fertilizante nitrogenado aplicado a uma cultura de feijão. *Pesq. Agropec. Bras.*, 20:1031-1040, 1985.
 5. COSTA, R. C. L.; LOPES, N. F.; OLIVA, M. A. & BARROS, N. F. Crescimento e conversão da energia solar em feijão submetido a três doses de nitrogênio e dois regimes hídricos. *Pesq. Agropec. Bras.*, 24:439-450, 1989.
 6. COULSON, C. L. Radiant energy conversion in three cultivars of *Phaseolus vulgaris*. *Agric. For. Meteorol.*, 35:21-29, 1985.
 7. FRANCO, A. A.; PEREIRA, J. C. & NEYRA, C. A. Seasonal patterns of nitrate and nitrogenase activities in *Phaseolus vulgaris* (L.). *Plant. Physiol.*, 63:421-424, 1978.
 8. HERRIDGE, D.F. & BROCKWELL, J. Contributions of fixed nitrogen and soil nitrate to the nitrogen economy of irrigated soybean. *Soil Biol. Biochem.*, 20:711-717, 1988.
 9. KOLLER, H. R.; NYQUIST, W. E. & CHORUSH, I. S. Growth analysis of the soybean community. *Crop Sci.*, 10:407-412, 1970.
 10. 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, W. Junk. B.V., 1971. p.343-391.
 11. 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. *Rev. Ceres*, 29:586-606, 1982.
 12. LOPES, N. F.; OLIVA, M. A.; CARDOSO, M. J.; GOMES, M. M. S. & SOUZA, V. F. DE. Crescimento e conversão da energia solar em *Phaseolus vulgaris* L. submetido a três densidades do fluxo radiante e dois regimes hídricos. *Rev. Ceres*, 33:142-164, 1986.
 13. MELGES, E.; LOPES, N. F. & OLIVA, M. A. Crescimento, produção de matéria seca e produtividade da soja submetida a quatro níveis de radiação solar. *Pesq. Agropec. Bras.*, 24:1073-1080, 1989.
 14. ODA, Y. & KAWATA, K. Effect of carbon dioxide concentration on dry matter accumulation in bean leaves measured by and improved half-leaf method. *Bull. Univ. Osaka Prefect., Series E*, 22:39-7, 1970.
 15. PATE, J. S.; LAYZELL, D. B. & ATKINS, A. C. Economy of carbon and nitrogen in a nodulated and nonnodulated (NO₃ grown) legume. *Plant. Physiol.*, 64:1083-1088, 1979.
 16. POORTER, H.; REMKES, C. & LAMBERS, H. Carbon and nitrogen economy of 24 wild species differing in relative growth rate. *Plant. Physiol.*, 94:621-627, 1990.
 17. REYES-CUESTA, R. *Crescimento e produção de dois cultivares de Phaseolus vulgaris* L. em função da fonte de nitrogênio. Viçosa, UFV, 1992. 157p. (Tese de M.S.).
 18. VIEIRA, H. J.; BERGAMASCHI, H.; COUTINHO, A. R. & ANGELOCCI, L. R. Disponibilidade hídrica do solo e eficiência do feijoeiro em utilizar água e radiação solar. *Pesq. Agropec. Bras.*, 25:1429-1445, 1990.

19. WALLACE, D. H. & MUNGER, H. M. Studies of the physiological basis for yield differences. I. Growth analysis of six dry bean varieties. *Crop Sci.*, 5:343-348, 1965.
20. WALLACE, D. H.; OZBUN, J. L. & MUNGER, H. M. Physiological genetics of crop yield. *Adv. Agron.*, 24:97-145, 1972.
21. WAUGH, D. H. & FITTS, J. W. *Soil test interpretation studies: Laboratory and potted plant. s.l.*, Int. Soil Testing, North Carolina Sta. Univ. Agri. Exp. Sta., 1966. 33p. (Tech. Bull., 3).