

Fixação biológica e transferência de nitrogênio por leguminosas em pomar orgânico de mangueira e gravioleira

Gleicia Miranda Paulino⁽¹⁾, Bruno José Rodrigues Alves⁽²⁾, Deborah Guerra Barroso⁽¹⁾, Segundo Urquiaga⁽²⁾ e José Antonio Azevedo Espindola⁽²⁾

⁽¹⁾Universidade Estadual do Norte Fluminense, Departamento de Fitotecnia, Avenida Alberto Lamego, nº 2.000, Parque Califórnia, CEP 28013-602 Campos dos Goytacazes, RJ. E-mail: gleiciamiranda@yahoo.com.br, deborah@uenf.br ⁽²⁾Embrapa Agrobiologia, Caixa Postal 74.505, CEP 23890-000 Seropédica, RJ. E-mail: bruno@cnpab.embrapa.br, urquiaga@cnpab.embrapa.br, jose@cnpab.embrapa.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar a fixação biológica de nitrogênio (FBN) e a transferência do N derivado da FBN das espécies leguminosas – gliricídia (*Gliricidia sepium*), crotalária (*Crotalaria juncea*) e feijão-guandu anão (*Cajanus cajan*) – para um pomar orgânico de mangueira e gravioleira, pelo método da abundância natural de N. Foram avaliados os seguintes sistemas de cultivos consorciados: mangueira e gravioleira com gliricídia; mangueira e gravioleira com crotalária; mangueira e gravioleira com feijão-guandu; e a testemunha mangueira e gravioleira. A gliricídia apresentou maior potencial de FBN (80%), seguida da crotalária (64,5%) e feijão-guandu (45%). Em dois cortes, a crotalária forneceu 149,5 kg ha⁻¹ por ano de N, com 96,5 kg derivados da FBN. A gliricídia com três podas anuais forneceu 56,4 e 80,3 kg ha⁻¹ por ano de N, com 45 e 64 kg derivados da FBN, em dois anos consecutivos. A quantidade de N fornecida foi superior à demandada pela mangueira e gravioleira. Variações na abundância natural de ¹⁵N foram detectadas somente na gravioleira. Gliricídia e crotalária destacaram-se na transferência de N, com cerca de 22,5 e 40% do N fixado, respectivamente. A adubação verde com gliricídia possibilita o parcelamento do N, com melhor aproveitamento pelas espécies frutíferas.

Termos para indexação: *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea*, *Gliricidia sepium*, adubação verde, fixação biológica do nitrogênio, ¹⁵N.

Biological fixation and nitrogen transfer by three legume species in mango and soursop organic orchards

Abstract – The objective of this work was to evaluate the biological nitrogen fixation (BNF) and the N transfer derived from BNF of the legume species – *Gliricidia sepium* (gliricidia), *Crotalaria juncea* (sunhemp) and *Cajanus cajan* (pigeon pea) – for an intercropped organic orchard with mango and soursop, through the ¹⁵N natural abundance method. The following intercropping systems were evaluated: mango and soursop with gliricidia; mango and soursop with sunhemp; mango and soursop with pigeon pea; and mango and soursop as control. Gliricidia showed the highest BNF potential (80%), followed by sunhemp (64.5%) and pigeon pea (45%). After two sunhemp prunes, 149.5 kg ha⁻¹ of N per year were supplied, with 96.5 kg derived from BNF. After three annual prunes, gliricidia supplied 56.4 and 80.3 kg ha⁻¹ of N per year, with 45 and 64 kg derived from BNF, in two consecutive years. The quantity of N supplied to the system was higher than the mango and soursop requirements. Variations in the natural abundance of ¹⁵N were found only in soursop leaves. Gliricidia and sunhemp were prominent in N transfer, with approximately 22.5 and 40% respectively. Green manuring using gliricidia permits fractioning of the N supply, which is an advantage in N obtention by the fruit trees.

Index terms: *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea*, *Gliricidia sepium*, green manuring, biological nitrogen fixation, ¹⁵N.

Introdução

Na maioria dos solos tropicais, a produção das culturas é severamente limitada pela deficiência de nitrogênio (N), o que as torna dependentes da aplicação de adubos nitrogenados sintéticos ou de fontes nitrogenadas alternativas, como os adubos verdes. A introdução de espécies leguminosas arbóreas ou arbustivas em áreas

cultivadas com pomares pode ser uma alternativa viável para suprir a demanda de N pelas espécies frutíferas (Silva et al., 2002; Espindola et al., 2006a, 2006b). Este nutriente é um dos mais necessários tanto na fase de formação quanto na fase de produção de muitas espécies, como a mangueira e a gravioleira.

O uso das leguminosas que apresentam elevado potencial de fixação biológica de nitrogênio (FBN)

e de produção de biomassa, como adubos verdes, em pomares, além de proporcionar economia com fertilizantes, contribui para o manejo ecológico do pomar (Espindola et al., 2006b). Isso é fundamental para a produção orgânica e para o estabelecimento e manutenção dos produtores no mercado de forma competitiva e menos dependentes de subsídios.

Ragozo et al. (2006) relataram que o manejo da adubação verde com feijão-guandu anão, feijão-de-porco e labe-labe pode ser interessante para os citricultores, quando utilizado por vários anos, pois pode aumentar a produtividade do pomar, além de trazer outros benefícios, como aumento na disponibilidade de N derivado das leguminosas, melhorias no solo e controle da vegetação espontânea.

Em Seropédica, RJ, Espindola et al. (2006b) observaram que o uso de cobertura viva com as leguminosas perenes – amendoim forrageiro, cudzu tropical e siratro –, em um pomar de bananeiras da cultivar Nanicão, proporcionou aumento da altura das plantas, da produtividade e da proporção de cachos colhidos, além de ter antecipado a colheita. Os maiores teores de N nas folhas de bananeiras foram observados no consórcio com as leguminosas. Esses mesmos autores obtiveram uma estimativa de FBN das leguminosas cudzu tropical, amendoim forrageiro e siratro, no pomar de bananeira, de 86,2, 66,9 e 38,2%, respectivamente. Apesar de não terem observado diferenças estatísticas entre os adubos verdes quanto à transferência de N derivado da FBN para as bananeiras, constataram que cerca de 24, 33 e 40% do N encontrado nos tecidos de folhas das bananeiras eram provenientes da FBN pelo siratro, cudzu tropical e amendoim forrageiro, respectivamente.

Os objetivos deste trabalho foram: avaliar a fixação biológica de N₂ (FBN) por *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth (gliricídia), *Crotalaria juncea* L. (crotalária) e *Cajanus cajan* (L.) Millsp. (feijão-guandu anão), e a transferência do N para pomar orgânico de mangueira e gravioleira pelo método da abundância natural de ¹⁵N.

Material e Métodos

Diferentes sistemas de consórcio foram avaliados em um pomar orgânico de mangueira e gravioleira, já estabelecido em área de 5 ha, no Município de Campos dos Goytacazes, RJ (21°36'50"S e 41°16'26"W). O solo da área experimental é classificado como Argissolo Amarelo, de relevo plano, com horizonte subsuperficial

coeso e adensado, e textura que varia de franco arenosa a franco-argilo-arenosa. O clima é do tipo Aw (classificação de Köppen). Informações climáticas de precipitação pluvial (totais mensais) e médias das temperaturas mensais máxima, mínima e média estão resumidas na Figura 1, conforme dados fornecidos pela EEC Pesagro, Campos dos Goytacazes, RJ.

Em novembro de 2003, o pomar orgânico foi implantado com as variedades de gravioleira Morada e Crioula e de mangueira Tommy Atkins, dispostas em linhas homogêneas e alternadas, no espaçamento 8x8 m. O plantio foi feito em covas, de 50x50x50 cm, que receberam, aproximadamente, 10 L de compostagem de casca de eucalipto e farinha de carne e ossos, com adição de 300 g de calcário dolomítico por cova, dois meses antes do plantio. Nessa ocasião, o solo apresentava, a 20 cm de profundidade, as seguintes propriedades químicas, conforme Claessen (1997): pH, 6,3; C, 10,2 g dm⁻³; P, 10 mg dm⁻³; K, 0,5 mmol_c dm⁻³; Ca, 17 mmol_c dm⁻³; Mg, 7 mmol_c dm⁻³; SB, 24 mmol_c dm⁻³; CTC, 49 mmol_c dm⁻³; V, 50% (Costa et al., 2004).

Foram avaliados os seguintes sistemas de cultivos consorciados, estabelecidos dentro do pomar orgânico: mangueira e gravioleira com gliricídia; mangueira e gravioleira com crotalária; mangueira e gravioleira com feijão-guandu; e a testemunha só com mangueira e gravioleira. Para cada sistema, foi delimitada uma área de 4.608 m² do pomar, subdividida em nove unidades amostrais de 512 m², das quais seis foram selecionadas ao acaso, para avaliações em diferentes períodos. Nos diferentes sistemas, cada unidade amostral continha quatro mangueiras e quatro gravioleiras e, no sistema com gliricídia, em cada unidade amostral foram plantadas 32 mudas desta espécie.

As mudas de gliricídia foram plantadas em novembro de 2004, quando o pomar tinha um ano de idade. O plantio foi feito em covas de 40x40x40 cm, que receberam 5 L de composto orgânico de casca de eucalipto e farinha de carne e ossos, a 2 m das linhas das frutíferas, no espaçamento de 4x4 m, que constituiu um sistema de cultivo em aleias. As gliricídias receberam adubação somente no plantio.

A crotalária e o feijão-guandu foram semeados em novembro de 2005. As sementes receberam inóculos de bactérias do gênero *Rhizobium*, da estirpe BR 2003 (SEMIA 6156), da coleção de culturas da Embrapa Agrobiologia. As semeaduras foram realizadas a 1,5 m das linhas das frutíferas, com espaçamento de 0,5 m

entre linhas, com o auxílio de matraca, e não receberam adubação. Foram plantadas aproximadamente cinco sementes por cova, no espaçamento médio de 20 cm entre covas.

A gliricídia foi podada frequentemente, quando atingia altura média de 2,15 m. A altura de corte foi de aproximadamente 1 m, e o material podado foi distribuído na área sob a copa das frutíferas. A primeira poda, realizada 195 dias após o plantio (junho de 2005), serviu para dar uniformidade ao estande. No decorrer de 2006 e 2007, as plantas foram podadas seis vezes. O material podado de cada planta, nas seis unidades amostrais (192 plantas amostradas), foi separado em folhas e ramos tenros (diâmetro $\leq 0,9$ cm) e em ramos lignificados (diâmetro $> 0,9$ cm), posteriormente pesados para a estimativa da massa de matéria fresca. Foram retiradas seis amostras compostas de cada componente aéreo avaliado, que foram pesadas no campo, para posterior estimativa da massa de matéria seca.

A crotalária recebeu dois cortes, em fevereiro e abril de 2006, aos 74 e 128 dias após a semeadura (DAS), e o feijão-guandu, um corte em fevereiro de 2006 (81 DAS), todos por ocasião do florescimento, aproximadamente a 10 cm acima do solo. O material cortado foi distribuído sob a copa das frutíferas. Para a estimativa da biomassa produzida, utilizou-se um gabarito de madeira com área de 1 m² que foi jogado

em três locais ao acaso, em cada uma das seis unidades amostrais. O material coletado dentro do gabarito foi pesado para estimativa da massa de matéria fresca. Posteriormente, foram retiradas seis amostras compostas desse material, que foram pesadas no campo para a estimativa da massa de matéria seca. Foi considerada, na estimativa de produção de massa de matéria seca e de adição de nutrientes pelas duas leguminosas, apenas a área ocupada pelas plantas em um hectare do pomar, que corresponde a 62,5% da área.

Após pesagem no campo, as amostras foram levadas à estufa de circulação forçada de ar a 65°C, por 72 horas. O material foi pesado para estimativa da massa de matéria seca e, posteriormente, triturado em moinho tipo Wiley, em peneira de 20 mesh. Uma fração dessas amostras moídas foi usada para a determinação do N total, pelo método de digestão de Kjeldahl (Anderson & Ingram, 1996).

A estimativa da FBN, feita pela técnica de abundância natural de ¹⁵N (Shearer & Kohl, 1986), foi realizada na segunda poda da gliricídia (janeiro de 2006) e no primeiro corte da crotalária e do feijão-guandu (fevereiro de 2006). Foram coletadas seis amostras compostas em cada sistema de cultivo consorciado. Da gliricídia, foram amostrados ramos tenros e folhas, e da crotalária e do feijão-guandu foi amostrada a parte aérea das plantas. Como plantas referência para

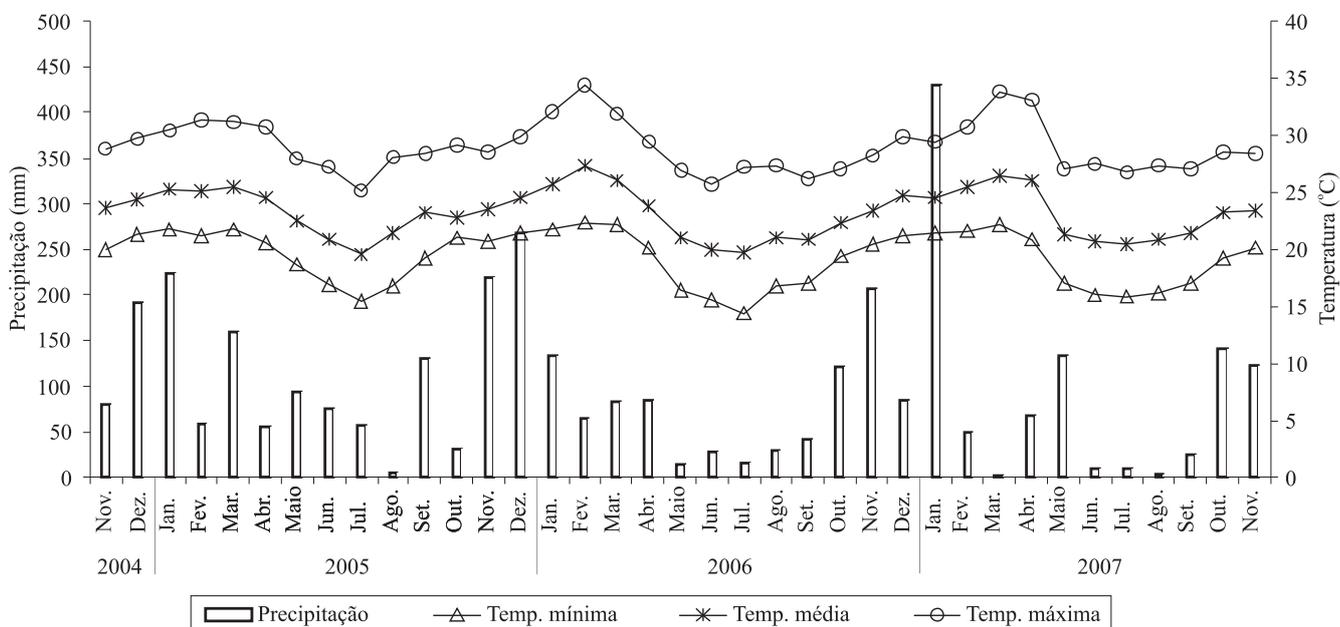


Figura 1. Precipitação pluvial mensal (mm) e médias mensais das temperaturas máxima, mínima e média (°C), no Município de Campos dos Goytacazes, RJ, de novembro de 2004 a dezembro de 2007.

a técnica, foram empregadas quatro espécies não leguminosas, formadoras da vegetação espontânea. Para a gliricídia as espécies referência foram: *Urochloa* sp., *Emilia sonchifolia* (L.) DC., *Hynchelytrum repens* (Willd.) C.E. Hubb e *Digitaria insularis* (L.) Fedde. Para crotalária e feijão-guandu, foram: *Urochloa* sp., *Bidens pilosa* L., *Hynchelytrum repens* (Willd.) C.E. Hubb e *Digitaria insularis* (L.) Fedde. Foi retirada uma amostra composta, constituída por seis amostras simples de cada espécie destas populações, coletadas fora da área de consórcio frutíferas-leguminosa.

Para a estimativa da transferência do N derivado da FBN para as frutíferas, foram coletadas seis amostras de folhas de mangueira e de gravioleira, retiradas de quatro plantas de cada espécie, nos três sistemas de cultivo consorciado (frutíferas e leguminosas) e no sistema referência (somente frutíferas). No sistema com gliricídia, as amostragens foram realizadas 35 e 60 dias após a segunda poda, e nos sistemas com crotalária e feijão-guandu, 35 dias após o primeiro corte. Da mangueira, foram amostradas folhas adultas, localizadas na parte mediana da copa e em todos os quadrantes da planta (uma folha por quadrante), conforme recomendações de Magalhães & Borges (2000). Da gravioleira, foram amostradas aproximadamente dez folhas adultas por planta, localizadas na parte mediana do ramo e da copa (Pinto et al., 2001).

Nas amostras coletadas, foram realizadas análises de N total, pelo método de Kjeldahl (Anderson & Ingram, 1996), e de abundância natural de ^{15}N , conforme Resende et al. (2003), com uso do espectrômetro de massa Finnigan MAT, modelo Delta Plus, acoplado a um autoanalisador de C e N Carlo Erba EA 1108 (Finnigan MAT, Bremen, Alemanha). A contribuição da FBN foi estimada pela equação: $\% \text{ FBN} = 100 (\delta^{15}\text{N}_{\text{planta testemunha}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{planta fixadora}}) / (\delta^{15}\text{N}_{\text{planta testemunha}} - B)$, em que B é a marcação natural de ^{15}N da planta fixadora cultivada em condições de total dependência da FBN. Neste estudo, foram considerados os seguintes valores: -1,5, e -0,9 ‰ para gliricídia e feijão-guandu, respectivamente, com base em Boddey et al. (2000); e -1,4 ‰ para crotalária, obtido em Okito et al. (2004).

Para a estimativa da transferência de N, foi utilizada a equação: $\% \text{ de N transferido} = [1 - (\delta^{15}\text{N}_{\text{planta teste}} / \delta^{15}\text{N}_{\text{planta testemunha}})] \times 100$, em que: $\delta^{15}\text{N}_{\text{planta teste}}$ é o valor de $\delta^{15}\text{N}$ obtido na frutífera que recebeu adubação verde, e o $\delta^{15}\text{N}_{\text{planta testemunha}}$ é o valor de $\delta^{15}\text{N}$ obtido na

espécie frutífera cultivada sem adubação verde (Dias et al., 2007).

Para a análise dos dados, foram estabelecidos intervalos de confiança para comparação das médias (Cochran, 1965), tendo-se considerado a probabilidade de 5%. Na estimativa da transferência de N, para a comparação das médias de $\delta^{15}\text{N}$ entre espécies frutíferas com e sem adubação verde, foi utilizado o teste t de Student, a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Houve grande diferença quanto à abundância natural de ^{15}N entre as plantas referência e as leguminosas, em que as primeiras apresentaram os maiores valores (Tabela 1). As leguminosas apresentaram valores que variaram com a espécie, o que indica que houve diferenças no potencial de FBN entre as espécies.

A maior estimativa da FBN foi da gliricídia. A percentagem de N_2 fixado biologicamente por essa leguminosa não diferiu da percentagem para a crotalária. A estimativa de FBN obtida para a gliricídia superou a do feijão-guandu em 35%. Deve-se considerar a necessidade futura de estimar a FBN pela gliricídia, com uso de espécies não leguminosas arbóreas como plantas de referência, que poderão ser mais representativas.

O menor potencial em fixar N_2 do feijão-guandu pode estar relacionado a algum fator que limitou seu desenvolvimento, uma vez que as plantas apresentaram crescimento reduzido e baixa produção de massa de matéria seca (Tabela 2). Oliveira et al. (2006) relataram uma estimativa de FBN em torno de 45%, pelo guandu-caqui de porte alto, no sistema

Tabela 1. Valores de delta ^{15}N ($\delta^{15}\text{N}$) em leguminosas (n = 6) e plantas de referência (n = 4), em pomar sob manejo orgânico, e percentagem de N_2 fixado biologicamente pelas leguminosas (N-FBN), determinados pelo método da abundância natural de ^{15}N , em Campos dos Goytacazes, RJ⁽¹⁾.

Espécie	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	N-FBN (%)
Gliricídia	-0,20±0,18	
Referência ⁽²⁾	4,86±0,28	80±7,3a
Crotalária	1,50±0,37	
Referência	6,73±0,51	64,5±11,9ab
Feijão -guandu	3,06±0,35	
Referência ⁽³⁾	6,26±0,43	45±12,9b

⁽¹⁾Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo intervalo de confiança a 95% (n = 6). ⁽²⁾*Urochloa* sp.; *Emilia sonchifolia*; *Hynchelytrum repens* e *Digitaria insularis*. ⁽³⁾*Urochloa* sp.; *Bidens pilosa*; *H. repens* e *D. insularis*.

de aleias localizado na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, oito meses após a semeadura, semelhante ao obtido no presente trabalho e com a mesma metodologia. Segundo os autores, a FBN pôde contribuir com 72 kg ha⁻¹ de N, do total de 159 kg ha⁻¹ de N aportados ao sistema. No presente trabalho, em razão da baixa produção de massa de matéria seca do feijão-guandu, obtida em um único corte, a FBN contribuiu com apenas 4 kg ha⁻¹ de N do total de 9 kg ha⁻¹ de N aportados. Estimativa superior de FBN pelo feijão-guandu foi observada em Seropédica, RJ, por Moreira et al. (2003), que relataram que 59% do N presente na parte aérea do feijão-guandu, em diferentes densidades de plantas, foram derivados da FBN, também estimada pela abundância natural de ¹⁵N, porém avaliada aos 160 dias após sua semeadura, com 50% das flores abertas. Para os autores, a competição decorrente do adensamento não afetou a FBN, e o aumento no número de plantas por área compensou a redução na massa de matéria seca obtida individualmente, em um único corte – 124 kg ha⁻¹ de N, do total de 209,71 kg ha⁻¹ de N acumulados em 8 Mg ha⁻¹ de massa de matéria seca adicionadas ao sistema.

A estimativa do N derivado da FBN na crotalária foi de 64,5% (Tabela 1), e contrasta com o observado por Urquiaga & Zapata (2000), que estimaram em 95% o N acumulado pela crotalária derivado da FBN, em ensaio no Estado do Rio de Janeiro. Resende et al. (2003) estimaram que a FBN dessa espécie, consorciada com cana-de-açúcar, variou entre 61 e 81%.

De fato, a magnitude da dependência pela FBN não é uma característica da planta, mas da interação entre eficiência da simbiose e fatores ambientais e edáficos que influenciam o processo (Giller, 2001). Conforme Dakora & Keya (1997), fatores como umidade relativa, temperatura, umidade do solo, nutrição, genótipo da

planta e estirpe de bactéria diazotrófica podem interferir no potencial de FBN das leguminosas.

Ao se considerar a massa de matéria seca produzida pela crotalária e guandu, verifica-se que a FBN possivelmente contribuiu com cerca de 36 e 60,5 kg ha⁻¹ de N acumulado na biomassa da crotalária, no primeiro e no segundo cortes, respectivamente, e com 4 kg ha⁻¹ de N no corte do feijão-guandu. A maior acumulação de N da crotalária, no segundo corte, deve-se ao melhor desempenho no crescimento que partiu da rebrota das plantas (Tabela 2).

A depender da época de plantio e do tempo entre a semeadura e o corte da crotalária, o benefício em termos de suprimento de N para o sistema pode ser diferente. Quando se comparam os resultados da crotalária do presente trabalho com os de Ricci et al. (2005), em um cultivo orgânico de café, em Valença, RJ, podem-se observar diferenças na produção de massa de matéria seca, no acúmulo de N e na estimativa da FBN. Em dois cortes da crotalária, realizados 76 e 175 dias após a semeadura (DAS), esses autores obtiveram um aporte ao sistema de 16 Mg ha⁻¹ de massa de matéria seca e 444 kg ha⁻¹ de N, quando se considera 100% da área ocupada com crotalária. Esses valores são muito superiores aos obtidos no presente trabalho, no qual foi descontada a área ocupada pelas espécies frutíferas e com intervalos de tempo entre a semeadura e os cortes menores do que os de Ricci et al. (2005), de 74 e 128 DAS, respectivamente. Esses autores, ao estimar a FBN pela crotalária, pelo método da abundância natural de ¹⁵N, aos 173 DAS, observaram variação de 39 a 54% na dependência da FBN. Esses valores são inferiores ao obtido neste trabalho, que foi de 64,5%, estimado aos 74 DAP. Segundo os autores, a FBN pôde contribuir com mais de 200 kg ha⁻¹ de N, do total de N acumulado no adubo verde, enquanto, no presente trabalho, a contribuição foi menor (96,5 kg ha⁻¹ de N).

Tabela 2. Produção de massa de matéria seca (MS) da parte aérea nas épocas de corte após a semeadura e estimativa das quantidades de N total e de N derivado da fixação biológica (N-FBN), adicionados aos sistemas pela crotalária e feijão-guandu, em Campos dos Goytacazes, RJ⁽¹⁾.

Espécie	Época de corte	MS ⁽²⁾	N total	N-FBN
		(kg ha ⁻¹)		
Feijão-guandu	1 ^o corte – 81 dias	356±26,2c	9,0±0,6c	4±0,3c
Crotalária	1 ^o corte – 74 dias	1.703±361b	55,5±11,7b	36±7,6b
	2 ^o corte – 128 dias	2.884±498a	94±16,2a	60,5±10,5a
Total crotalária		4587	149,5	96,5

⁽¹⁾Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem pelo intervalo de confiança, a 95% (n = 6). ⁽²⁾Teores médios de N, na massa de matéria seca da parte aérea de crotalária e do feijão-guandu, foram 32,54 e 25,23 g kg⁻¹, respectivamente.

Não houve diferença na FBN entre a gliricídia e a crotalária, e a maior percentagem de N_2 fixado biologicamente pela gliricídia (Tabela 1) pode estar relacionada à competição dessa espécie com as espécies frutíferas pelo N mineral do solo, em comparação ao sistema com crotalária. Conforme Peoples & Craswell (1992), diferenças na habilidade competitiva das culturas componentes do agrossistema em obter N do solo podem estimular a FBN em cultivos consorciados. Situação semelhante foi observada por Perin et al. (2004a), que relataram potencial de FBN na crotalária em monocultivo menor do que quando consorciada com milho, com valores de 57 e 61%, respectivamente.

A estimativa de FBN feita para a gliricídia foi extrapolada para as demais podas, realizadas praticamente na mesma época, concentradas no período de chuvas (Tabela 3 e Figura 1). Além disso, as plantas de gliricídia apresentaram-se vigorosas e mantiveram sua capacidade de rebrota e de produção de biomassa no decorrer do período de avaliação. Sanginga et al. (1994) relataram maior percentagem de FBN em gliricídia podada do que na não podada, tendo-se observado que 54 e 35% do N total eram derivados da FBN, respectivamente. Isso mostra que a poda pode estimular a FBN nas plantas.

A maior parte do N adicionado ao sistema pela gliricídia foi proveniente dos ramos tenros e das folhas, uma vez que este componente, além de apresentar maior teor de N ($31,47 \text{ g kg}^{-1}$), em relação aos ramos lignificados ($11,76 \text{ g kg}^{-1}$) correspondeu também à maior proporção da parte aérea podada. Observa-se que, em 2006, o aporte total de N ao sistema em três podas foi de $56,5 \text{ kg ha}^{-1}$, dos quais $45,2 \text{ kg}$ foram derivados da

FBN. Em 2007, a quantidade de N aportada ao sistema, com as três podas, foi aproximadamente 42% maior do que em 2006.

Na literatura, observa-se uma grande variação na contribuição da FBN por leguminosas arbóreas. Segundo Dakora & Keya (1997), estas espécies podem fixar de 44 a 581 kg ha^{-1} de N por ano e são componentes importantes do sistema em aleias, por favorecerem a sustentabilidade do próprio sistema. Estes mesmos autores listaram estimativas de N fixado biologicamente em diversas leguminosas no continente africano, entre as quais a gliricídia, com 108 kg ha^{-1} por ano, valor bem acima do observado no presente trabalho. Sanginga (2003) relata que a FBN em espécies arbóreas como *Acacia mangium*, *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala*, no sistema de aleias, são capazes de contribuir para o sistema com cerca de 100 a 300 kg ha^{-1} por ano de N.

Para a adubação nitrogenada de ambas as espécies frutíferas, são recomendadas doses de $31,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de N por ano, para a mangueira (Magalhães & Borges, 2000), no terceiro e no quarto anos após o plantio e, para a gravioleira (Manica, 1994), são recomendados $31,2 \text{ kg ha}^{-1}$ (no terceiro ano) e $60,8 \text{ kg ha}^{-1}$ (no quarto ano) de N aplicados de forma parcelada. De acordo com esses autores, a mangueira deve ser adubada em outubro, janeiro e março – no terceiro ano – e antes da floração, após o pegamento do fruto e após a colheita – no quarto ano. Para a gravioleira, isso deve ser feito no início e no final do período de chuvas do terceiro ano, e no início, meio e no final do período de chuvas, no quarto ano. No cálculo das quantidades de N a serem aplicadas, considerou-se um hectare de cada espécie frutífera, com espaçamento $8 \times 8 \text{ m}$.

Tabela 3. Produção de massa de matéria seca nas frações da parte aérea⁽¹⁾, teor de N total e de N derivado da fixação biológica (N-FBN), adicionados ao sistema pela gliricídia plantada em novembro de 2004, no regime de três podas anuais, em Campos dos Goytacazes, RJ⁽²⁾.

Época de poda	Ramos tenros+folhas	Ramos lignificados	Total	N total	N-FBN
----- (kg ha ⁻¹) -----					
1/2006	416±27cd	306±50cd	722	16,7±1,4cd	13,3±1,1cd
3/2006	377±46d	293±38d	670	15,3±1,9d	12,2±1,5d
11/2006	624±61b	420±60b	1.044	24,6±2,6b	19,7±2,1b
Total	1.417	1.019	2.436	56,4	45,1
1/2007	1.092±159a	634±127a	1.726	41,8 ±6,5a	33,4 ±5,2a
4/2007	469±86cd	308±30d	777	18,3 ±3,0cd	14,6±2,4 cd
11/2007	497±70bc	389±48bc	886	20,2 ±2,7bc	16,2 ±2,2bc
Total	2.058	1.331	3.389	80,3	64,2

⁽¹⁾Teor médio de N na massa de matéria seca de ramos tenros e folhas e de ramos lignificados foram de $31,47$ e $11,76 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente. ⁽²⁾Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo intervalo de confiança, a 95% (n = 6).

Quando se observa a quantidade de N derivado da FBN, acumulada na biomassa pela crotalária em 2005 (Tabela 2), e pela gliricídia em 2006 e 2007 (Tabela 3), períodos correspondentes às adubações do terceiro e do quarto anos após o plantio, verifica-se que a quantidade de N fixado pelas duas leguminosas foi suficiente para a adubação tanto da mangueira quanto da gravioleira. Isto representa uma contribuição significativa para as culturas e é muito importante em um sistema de produção orgânica. A quantidade de N derivado da FBN, acumulada na biomassa da gliricídia em 2006 e 2007, foi aproximadamente 45 e 106% acima do recomendado para a mangueira no terceiro e quarto anos, respectivamente. Na gravioleira, a quantidade foi de cerca de 45 e 6%.

O sistema de aleias com gliricídia e o consórcio com a crotalária podem proporcionar economia de fertilizante nitrogenado. O nitrogênio derivado da FBN, nessas duas leguminosas, é possivelmente capaz de atender parte da demanda das espécies frutíferas nas adubações de terceiro e quarto anos pós-plantio. No entanto, deve-se salientar que, no sistema em aleias, o manejo de poda da gliricídia proporciona adubações parceladas para a cultura de interesse, o que é uma vantagem em relação ao uso de adubos verdes de ciclo anual, como a crotalária. Esses adubos podem adicionar ao sistema grandes quantidades de nutrientes de uma só vez. Porém, em curto intervalo de tempo, como observado na adubação verde com crotalária, os adubos verdes podem acarretar perdas de nutrientes, especialmente de N. Além disso, deve ser considerada a necessidade de replantio.

Na estimativa da transferência do N fixado para as frutíferas, os valores médios de $\delta^{15}\text{N}$, observados na mangueira com adubação verde, não diferiram significativamente dos observados na testemunha (Tabela 4), o que indica que a quantidade de N disponível pela matéria seca das leguminosas não foi suficiente para alterar sensivelmente a marcação de ^{15}N dos tecidos da mangueira ou que a época de amostragem para a estimativa da transferência de N derivado de FBN não coincidiu com a época de maior demanda por N.

Em um sistema agroflorestal com 16 anos, Daudin & Sierra (2008) usaram o método da abundância natural de ^{15}N para estimar a transferência de N da gliricídia para a gramínea associada *Dichanthium aristatum* (Poir.) C.E. Hubb. Os autores relataram que, antes da poda da árvore, o N total transferido da gliricídia foi de 57% do N absorvido pela gramínea, com 31% proveniente da FBN. Porém, a transferência de N não pode ser calculada depois das podas, em razão da mudança no sinal isotópico de ^{15}N do solo.

Os teores médios de N foliar nas mangueiras com e sem adubação verde não diferiram (Tabela 4), o que indica que a quantidade de N transferida da leguminosa não foi significativa. Contudo, esses teores encontram-se dentro da faixa considerada média para a cultura (Magalhães & Borges, 2000), que é de 1 a 1,19%.

Pelos resultados de $\delta^{15}\text{N}$, a transferência de N derivado da FBN para a gravioleira variou de 0 a 40% (Tabela 4). Os valores médios de $\delta^{15}\text{N}$, observados na gravioleira com gliricídia, 35 dias após a poda, e com feijão-guandu, não foram diferentes dos observados na testemunha. A pequena quantidade de N deixada pelo guandu explica este resultado. O valor médio de

Tabela 4. Valores±erro-padrão (n = 6) de delta ^{15}N ($\delta^{15}\text{N}$), nas folhas da mangueira e da gravioleira – com e sem adubação verde – e transferência de N derivado da fixação biológica (N-FBN), determinados pelo método da abundância natural de ^{15}N e teor foliar de N em ambas as espécies frutíferas do pomar orgânico, em Campos dos Goytacazes, RJ⁽¹⁾.

Adubo verde	Dias após adubação verde	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)		N-FBN (%)	N foliar (%)	
		Consórcio	Testemunha		Consórcio	Testemunha
Mangueira						
Gliricídia	35	6,01±0,49	5,00±0,08	-	1,05±0,21a	0,98±0,09a
	60	5,24±0,34	4,91±0,11	-	1,09±0,14a	1,04±0,06a
Crotalária	35	4,65±0,27 ^{ns}	4,91±0,11	5,06	1,13±0,07a	1,04±0,06a
Feijão-guandu	35	5,68±0,35	4,95±0,06	-	1,19±0,11a	1,12±0,08a
Gravioleira						
Gliricídia	35	5,40±0,61	5,26±0,11	-	1,51±0,19a	1,48±0,15a
	60	3,80±0,60*	5,64±0,09	40	2,42±0,31a	2,13±0,26a
Crotalária	35	4,37±0,15*	5,64±0,09	22,5	2,99±0,28a	2,13±0,26b
Feijão-guandu	35	6,09±0,28	5,54±0,14	-	2,18±0,18a	1,82±0,21a

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais em uma mesma linha não diferem entre si; intervalo de confiança, a 95% (n = 6). ^(ns)Não significativo pelo teste t de Student, a 5% de probabilidade. *Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t de Student.

$\delta^{15}\text{N}$ na gravioleira, na área com gliricídia, 60 dias após a poda, foi significativamente menor do que na testemunha, o que indica transferência de N fixado para essa espécie frutífera. Portanto, a estimativa do N da gravioleira, proveniente da FBN da gliricídia, foi de 40%. Essa transferência de N, detectada aos 60 dias após a poda da gliricídia, provavelmente está relacionada ao tempo necessário para a decomposição do material podado adicionado ao sistema e, conseqüentemente, ao tempo para a mineralização do N, nas condições edafoclimáticas do local. Pode, também, ter havido imobilização temporária do N no solo, que só ficou disponível após a remineralização. Assim, pode-se inferir que, na amostragem aos 60 dias, a quantidade de N disponibilizada dos resíduos de gliricídia e remineralizada foi suficiente para alterar a marcação de ^{15}N dos tecidos da gravioleira.

Os valores médios de $\delta^{15}\text{N}$ nas gravioleiras foram menores nas plantas com adubação verde com crotalária do que na testemunha. Foi estimado que 22,5% do N da gravioleira era proveniente da FBN da crotalária (Tabela 4). No mesmo local e condições edafoclimáticas onde foi realizado este trabalho, Lamônica (2008) avaliou a decomposição de resíduos de crotalária, tendo verificado que, 35 dias após o corte, cerca de 50% do N havia sido liberado. Isso indica que os resíduos são de rápida decomposição, e que o N é liberado rapidamente e em quantidade suficiente para alterar a marcação de ^{15}N nos tecidos da gravioleira.

A adubação verde com gliricídia e a adubação com crotalária contribuíram substancialmente para a adição de N ao sistema (Tabelas 2 e 3), e a transferência do N fixado biologicamente foi maior nas gravioleiras adubadas com gliricídia do que naquelas adubadas com crotalária. Esses resultados estão relacionados, provavelmente, ao tempo entre a decomposição dos resíduos e à época de avaliação da transferência de N dos adubos verdes. Em estudos de decomposição de resíduos de poda de gliricídia, realizados por Paulino (2008), e de crotalária, realizados por Lamônica (2008), as duas espécies apresentaram rápida liberação do N dos resíduos. Contudo, a eficiência da adubação verde no pomar depende da sincronicidade entre a liberação de nutrientes dos resíduos de poda e as fases de maior absorção pela cultura de interesse econômico (Espindola et al., 2006a; Perin et al., 2006; Diniz et al., 2007).

Os teores médios de N, nas folhas de gravioleiras adubadas com crotalária, foram maiores do que os da testemunha (Tabela 4), o que é considerado

adequado para a cultura, de acordo com a faixa de teores descrita por Manica (1994), de 2,49 a 2,84%. Nos demais sistemas, os teores estão ligeiramente abaixo do considerado adequado. Assim, as variações na abundância natural de ^{15}N , nas folhas da gravioleira, indicam que a adubação verde com gliricídia e crotalária foi importante no fornecimento de N para essa cultura.

Em Seropédica, RJ, em uma pastagem arborizada com leguminosas, Dias et al. (2007) relataram variação na transferência para as gramíneas do N derivado da FBN, pelas árvores, de 0 a 37,7%. Essa variação foi dependente da espécie leguminosa e da distância da área amostrada da pastagem em relação ao tronco da árvore onde foi detectada maior transferência de N derivado da FBN no capim mais próximo às leguminosas arbóreas. Assim, a aplicação do adubo verde no entorno da área sob a copa das espécies frutíferas é importante para favorecer a disponibilidade de N para essas culturas.

Os resultados do presente trabalho demonstraram os benefícios do consórcio de leguminosas no fornecimento de N, bem como da transferência de N derivado da FBN por estas leguminosas para a gravioleira, quando se utilizaram os adubos verdes gliricídia e crotalária.

Conclusões

1. A gliricídia apresenta maior capacidade de fixação biológica de nitrogênio que a crotalária, as quais, dependendo da produção de massa de matéria seca, adicionam ao sistema uma quantidade de N superior à demandada pelas espécies frutíferas mangueira e gravioleira.

2. A crotalária e a gliricídia transferem para a gravioleira de 22,5 a 40% do N da fixação biológica.

3. O parcelamento na adubação verde com gliricídia, decorrente da poda ao longo do ano, possibilita melhor aproveitamento do N pelas frutíferas do que a adubação verde anual com crotalária.

Agradecimentos

À Universidade Estadual do Norte Fluminense e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio de Janeiro, pelo apoio financeiro; à Embrapa Agrobiologia, pelo fornecimento das estacas de gliricídia, de inoculantes e realização das análises de N total e ^{15}N ; à Respa Indústria e Comércio, pelo apoio logístico.

Referências

- ANDERSON, J.D.; INGRAM, J.S.I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. 2nd ed. Wallingford: CAB International, 1996. 171p.
- BODDEY, R.M.; PEOPLES, M.B.; PALMER, B.; DART, P.J. Use of the ¹⁵N natural abundance technique to quantify biological nitrogen fixation by woody perennials. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.57, p.235-270, 2000.
- CLAESSEN, M.E.C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).
- COCHRAN, W.G. **Técnicas de amostragem**. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1965. 555p.
- COSTA, G.S.; ESPINDOLA, J.A.A.; BARROSO, D.G.; THOMÉ, M.P.; SOUZA, C.L.M.; PAULINO, G.M.; RIBEIRO, G.; BARRETO, A.J.R.; SILVA JORGE, M.E. Manejo do solo para produção orgânica de gravioleira e mangueira no Norte Fluminense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 18., 2004, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2004. 1 CD-ROM.
- DAKORA, F.D.; KEYA, S.O. Nitrogen fixation in sustainable agriculture: the African experience. **Soil Biology and Biochemistry**, v.29, p.809-818, 1997.
- DAUDIN, D.; SIERRA, J. Spatial and temporal variation of below-ground N transfer from a leguminous tree to an associated grass in an agroforestry system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.126, p.275-280, 2008.
- DIAS, P.F.; SOUTO, S.M.; RESENDE, A.S.; URQUIAGA, S.; ROCHA, G.P.; MOREIRA, J.F.; FRANCO, A.A. Transferência do N fixado por leguminosas arbóreas para o capim Survenola crescido em consórcio. **Ciência Rural**, v.37, p.352-356, 2007.
- DINIZ, E.R.; SANTOS, R.H.S.; URQUIAGA, S.S.; PETERNELLI, L.A.; BARRELLA, T.P.; FREITAS, G.B. de. Green manure incorporation timing for organically grown broccoli. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.199-206, 2007.
- ESPINDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L. de; TEIXEIRA, M.G.; URQUIAGA, S. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.321-328, 2006a.
- ESPINDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; PERIN, A.; TEIXEIRA, M.G.; ALMEIDA, D.L. de; URQUIAGA, S.; BUSQUET, R.N.B. Bananeiras consorciadas com leguminosas herbáceas perenes utilizadas como coberturas vivas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.415-420, 2006b.
- GILLER, K.E. **Nitrogen fixation in tropical cropping systems**. 2.ed. Wallingford: CAB International, 2001. 423p.
- LAMÔNICA, K.R. **Benefícios da crotalária na nutrição e crescimento de mangueira, gravioleira e neem e nas alterações de características do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. 73p. Tese (Mestrado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes.
- MAGALHÃES, A.F.J.; BORGES, A.L. Calagem e adubação. In: MATOS, A.P. de (Org). **Manga: produção: aspectos técnicos**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000. p.35-44.
- MANICA, I. **Fruticultura: cultivo das anonáceas: ata, cherimólia e graviola**. Porto Alegre: EVANGRAF, 1994. 117p.
- MOREIRA, V.F.; PEREIRA, A.J.; GUERRA, J.G.M.; GUEDES, R.E.; COSTA, J.R. **Produção de biomassa de guandu em função de diferentes densidades e espaçamentos entre sulcos de plantio**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2003. 5p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado técnico, 57).
- OKITO, A.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Isotopic fractionation during N₂ fixation by four tropical legumes. **Soil Biology and Biochemistry**, v.36, p.1179-1190, 2004.
- OLIVEIRA, F.L. de; GUERRA, J.G.M.; JUNQUEIRA, R.M.; SILVA, E.E. da; OLIVEIRA, F.F. de; ESPINDOLA J.A.A.; ALMEIDA, D.L. de; RIBEIRO, R. de L.D.; URQUIAGA, S. Crescimento e produtividade do inhame cultivado entre faixas de guandu em sistema orgânico. **Horticultura Brasileira**, v.24, p.53-58, 2006.
- PAULINO, G.M. **Potencial de leguminosas para adubação verde em consórcio com mangueira e gravioleira sob manejo orgânico**. 2008. 125p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes.
- PEOPLES, M.B.; CRASWELL, E.T. Biological nitrogen fixation: investments, expectations and actual contributions to agriculture. **Plant and Soil**, v.141, p.13-39, 1992.
- PERIN, A.; SANTOS, R.H.S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J.G.M.; CECON, P.R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.35-40, 2004a.
- PERIN, A.; SANTOS, R.H.S.; URQUIAGA, S.S.; CECON, P.R.; GUERRA, J.G.M.; FREITAS, G.B. de. Sunnhemp and millet as green manure for tropical maize production. **Scientia Agricola**, v.63, p.453-459, 2006.
- PINTO, A.C. de Q.; SILVA, E.M. da; RAMOS, V.H.V.; RODRIGUES, A.A. Tratos culturais. In: OLIVEIRA, M.A.S. (Ed.). **Graviola: produção: aspectos técnicos**. Planaltina: Embrapa Cerrados; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p.26-33. (Frutas do Brasil, 15).
- RAGOZO, C.R.A.; LEONEL, S.; CROCCI, A.J. Adubação verde em pomar cítrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.28, p.69-72, 2006.
- RESENDE, A.S. de; XAVIER, R.P.; QUESADA, D.M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. Use of green manures in increasing inputs of biologically fixed nitrogen to sugar cane. **Biology and Fertility of Soils**, v.37, p.215-220, 2003.
- RICCI, M.D.S.; ALVES, B.J.R.; MIRANDA, S.C.; OLIVEIRA, F.F. de. Growth rate and nutritional status of an organic coffee cropping system. **Scientia Agricola**, v.62, p.138-144, 2005.

SANGINGA, N. Role of biological nitrogen fixation in legume-based cropping systems; a case study of West Africa farming systems. **Plant and Soil**, v.252, p.25-39, 2003.

SANGINGA, N.; DANSO, S.K.A.; ZAPATA, F.; BOWEN, G.D. Influence of pruning management on P and N distribution and use efficiency by N₂ fixing and non-N₂ fixing trees used in alley cropping systems. **Plant and Soil**, v.167, p.219-226, 1994.

SHEARER, G.; KOHL, D.H. N₂-fixation in field settings: estimations based on natural ¹⁵N abundance. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.13, p.699-756, 1986.

SILVA, J.A.A. da; VITTI, G.C.; STUCHI, E.S.; SEMPIONATO, O.R. Reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo pelo cultivo intercalar de adubos verdes em pomar de laranjeira 'Pêra'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.24, p.225-230, 2002.

URQUIAGA, S.; ZAPATA, F. Fuentes alternativas para la fertilización nitrogenada de cultivos anuales. IN: URQUIAGA, S.; ZAPATA, F. (Ed.). **Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en América Latina y el Caribe**. Porto Alegre: Gênese; Rio de Janeiro: Embrapa Agrobiologia, 2000. p.57-76.

Recebido em 9 de junho de 2009 e aprovado em 21 de novembro de 2009