

Desempenho de adubos verdes e da primeira soqueira de cana-de-açúcar cultivados consorciadamente

Behavior of sugar cane first ratoon and green manures in intercropping system

AMBROSANO, Edmilson José¹; CANTARELLA, Heitor²; ROSSI, Fabricio³; SCHAMMASS, Eliana Aparecida⁴; SILVA, Edson Cabral da⁵; AMBROSANO, Glaucia Maria Bovi⁶; DIAS, Fábio Luis Ferreira⁷, TRIVELIN, Paulo Cesar Ocheuze⁸; MURAOKA, Takashi⁹

1 Instituto Agrônomo (IAC)/ Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), São Paulo/SP – Brasil, ambrosano@apta.sp.gov.br; 2 Instituto Agrônomo (IAC)/ Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), São Paulo/SP – Brasil, cantarella@iac.sp.gov.br; 3 Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos/USP, Pirassununga/SP – Brasil, fabricio.rossi@usp.br; 4 Instituto de Zootecnia (IZ)/Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), São Paulo/SP – Brasil, eliana@iz.sp.gov.br; 5 Pós-Doc CNPq/Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA)/USP, Piracicaba/SP – Brasil, edsoncabralsilva@gmail.com; 6 Faculdade de Odontologia de Piracicaba/UNICAMP, Piracicaba/SP – Brasil, glaucia@fop.unicamp.br; 7 Instituto Agrônomo (IAC)/ Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA)/Pólo Centro Sul, São Paulo/SP – Brasil fabio@apta.sp.gov.br; 8 Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA)/USP, Piracicaba/SP – Brasil, pcotrive@cena.usp.br; 9 Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA)/USP, Piracicaba/SP – Brasil, muraoka@cena.usp.br

RESUMO: Os objetivos deste trabalho foram avaliar o potencial de algumas espécies de adubos verdes em integrar um sistema de produção intercalar com a primeira soqueira da cana-de-açúcar e seu efeito na produtividade, bem como sua capacidade de reciclar nutrientes e fixar nitrogênio simbioticamente. O trabalho foi desenvolvido no período de setembro de 2001 a agosto de 2003, em Piracicaba, SP, em um Latossolo Vermelho eutrófico. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com cinco repetições e nove tratamentos (oito espécies de adubos verdes e uma testemunha). A parcela experimental foi composta de cinco linhas de cana-de-açúcar com 10 m de comprimento e espaçadas de 1,40 m, plantada em setembro de 2001. Os adubos verdes foram semeados no final de novembro de 2002, nas entrelinhas da primeira soca da cana no sistema de consórcio, dois meses após o primeiro corte, em duas linhas espaçadas de 0,50 m e com 10 m de comprimento. As leguminosas apresentaram um bom desenvolvimento nas entrelinhas da cana-de-açúcar e não causaram queda de produtividade na cultura, com exceção da crotalária-júncea que prejudicou a produtividade da cana-de-açúcar. Os resultados recomendam cultivo intercalar para cana após primeiro corte. As leguminosas apresentaram elevado potencial para fixação biológica do nitrogênio.

PALAVRAS-CHAVE: *Saccharum officinarum* L., agricultura ecológica, leguminosas, ciclagem de nutrientes, fixação biológica de nitrogênio, relação C/N.

ABSTRACT: The behavior of eight green manure species was evaluated in intercropping grown. The field experiment was carried out, in Piracicaba, SP, Brazil, in a Eutrofic Red Latosol soil. The experimental design was randomized block, with five replicates and nine treatments (eight green manures species and a control). The experimental sugar cane area contained 10 lines of plants 10 m long and 1.40 m apart. The green manure had been sown in 2 lines of plants 10 m long and 0.50 m apart in intercropping grown. The green manure had presented a good development in intercropping system and it didn't cause fall of productivity in the sugar cane with exception of the sunnhemp that harmed the productivity of the sugar cane plants. The results strengthen the recommendation to intercalate green manure for sugar cane after first harvest. It is found substantial amounts of biological nitrogen fixation present in green manures above ground parts.

KEY WORDS: *Saccharum officinarum* L., ecological agriculture, legume, nutrients cycling, biological nitrogen fixation, C/N ratio.

Correspondências para: ambrosano@apta.sp.gov.br

Aceito para publicação em 20/10/2013

Introdução

Na atualidade existe a preocupação da sociedade mundial em relação ao uso crescente de combustíveis produzidos a partir de fontes de origem fóssil. Vários países estão buscando reduzir o uso dessas fontes de energia, quer seja pela completa substituição ou pela mistura com combustíveis de fontes renováveis, como o etanol. Dos cultivos mundialmente usados para a produção industrial de etanol, a cana-de-açúcar produzida no Brasil tem destaque no cenário internacional por sua elevada eficiência fotossintética e produtividade nos ambientes tropical e subtropical, o que lhe garante superioridade de balanço energético, por exemplo, com o etanol produzido a partir de milho.

Com a utilização de adubos verdes em consórcio com a cana-de-açúcar pode-se suprir, em parte ou totalmente, os adubos nitrogenados (XAVIER, 2002; DONIZETE, 2009; TRENTO FILHO, 2009) os quais, por estarem atrelados ao aumento do preço do petróleo, têm custo muito elevado.

Dentre as exigências nutricionais da cana-de-açúcar o nitrogênio é um dos mais limitantes, tanto para o desenvolvimento da cultura como na expressão do potencial produtivo dos cultivares plantados em solos brasileiros. Entre os técnicos ligados ao setor agrícola de usinas produtoras de cana-de-açúcar é voz corrente que, se em determinado ano não for feita a adubação dos canaviais (soqueiras) com nitrogênio, a produtividade naquela safra não será afetada de forma marcante, mas o efeito ocorrerá nos anos seguintes, com reflexo na longevidade da soqueira. Penatti et al. (1997) e Oolando Filho et al. (1999) constataram esse efeito e afirmaram que a resposta da cana planta ao nitrogênio se refletiu no maior vigor das soqueiras, aumentando a produção nos cortes subsequentes, entre a cana-de-açúcar com e sem adubação nitrogenada.

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é a

principal forma de entrada de N nos ecossistemas nativos e na agricultura de baixos insumos (CLEVELAND et al. 1999). Na agricultura com alta aplicação de insumos, a FBN é uma forma de reduzir o custo da adubação nitrogenada. A simbiose de espécies de leguminosas com bactérias genericamente chamadas de rizóbios é conhecida há muitas décadas. Há longas listas de espécies de leguminosas que formam este tipo de associação (FARIA e LIMA 1998).

As principais características agrônômicas a serem consideradas na escolha de plantas condicionadoras de solo para uso em sistemas de produção agrícola, visando melhorar a nutrição, são: rendimento de biomassa, ciclo compatível com o da cultura comercial, produção de sementes, enraizamento profundo; tolerância ao alumínio; eficiência na extração e ciclagem de nutrientes; elevada de fixação do N₂ atmosférico; resistência ao estresse hídrico; eficiência no controle de invasoras e de nematóides, não ser hospedeira de pragas e doenças (AMABILE et al., 1999, 2000; CARVALHO e AMABILE, 2006). Estas características necessitam, ainda, se refletir em incremento da matéria orgânica do solo (MOS) e no fornecimento de nutrientes, principalmente, N e fósforo (P) em formas mais lábeis.

Os adubos verdes desempenham papel fundamental na ciclagem de nutrientes no solo, tanto daqueles adicionados por meio dos fertilizantes minerais, como daqueles provenientes da mineralização da MOS (ALVARENGA et al., 1995; AMABILE et al., 1999; ALCÂNTARA et al., 2000). A exceção do N, cuja maior parte é fixada do ar a partir de simbiose, os demais são reciclados do próprio solo, muitas vezes, de camadas fora do alcance das raízes e formas pouco assimiláveis, transformando-os em formas mais disponíveis às culturas comerciais. Contudo, a maioria dos estudos considera apenas sua capacidade de suprir N às culturas subsequentes.

Com a expansão da cultura canavieira no Brasil,

geralmente, em solos de baixa fertilidade natural, é de fundamental importância manter um nível adequado de nutrientes no solo para sustentar produções econômicas. O cultivo de adubos verdes em áreas de reforma do canavial não implica em perda de um ano agrícola e nem interfere na germinação da cana; apresenta custos relativamente baixos e promove aumentos significativos na produção de colmos, de açúcar e de álcool, pelo menos até o segundo corte. Dependendo da espécie, bem como da quantidade de N e K acumuladas pelos adubos verdes, pode substituir integralmente a aplicação desses nutrientes até o segundo corte (LUZ et al., 2005).

A utilização da adubação verde com leguminosas na cana-de-açúcar é recomendada quando se reforma o canavial. Essa prática não interfere na brotação da cana. Seu custo é relativamente baixo e promove aumentos significativos nas produções de cana e de açúcar em pelo menos dois cortes. Adicionalmente, protege o solo contra a erosão e evita multiplicação de plantas espontâneas (AMBROSANO et al., 2005).

As leguminosas podem acumular mais de 5 t ha⁻¹ de material vegetal seco durante um período curto de tempo no verão e acumular grandes quantidades de N e K. Muito desse N vem da fixação simbiótica do nitrogênio e pode suprir em parte ou totalmente as necessidades da cana-de-açúcar principalmente no primeiro corte, quando a adubação verde é feita nas áreas de reforma ou implementação do novo canavial (ALBUQUERQUE et al., 1980; AMBROSANO et al., 2011).

Em função de seu potencial de FBN e recuperação da fertilidade do solo, as leguminosas (Fabaceae) representam uma alternativa ao suprimento, substituição ou complementação da adubação mineral e recomposição da fertilidade do solo (SCIVITTARO et al., 2000).

Prellwitz e Coelho (2011) avaliaram os efeitos

do cultivo de *Crotalaria juncea* L. semeada nas entrelinhas da soca de cana-de-açúcar, na produtividade de colmos, no índice de área foliar e no acúmulo de N em cana de açúcar. A leguminosa foi semeada em faixas em delineamento em blocos ao acaso, com nove tratamentos e quatro repetições. O tratamento em que duas linhas de crotalaria foram semeadas aos 51 dias após o corte da cana e cortada aos 110 dias após sua semeadura obteve produtividade média estatisticamente similar à daquela constatada no monocultivo da cana-de-açúcar com adubação de cobertura e com controle de plantas daninhas, mas superior à do tratamento em monocultivo não adubado e sem controle de plantas daninhas. Nos tratamentos consorciados com a leguminosa, foram obtidos maiores teores de nitrogênio foliar do que naqueles em monocultivo.

Com o objetivo de conhecer o potencial de algumas espécies de adubos verdes em integrar um sistema de produção intercalar com a primeira soqueira da cana-de-açúcar e seu efeito na produtividade, bem como sua capacidade de reciclar nutrientes e fixar nitrogênio simbioticamente foi conduzido esse experimento para caracterizar quimicamente e avaliar o comportamento de oito espécies de plantas adubos verdes consorciadas com a cana-de-açúcar após o primeiro corte e seu efeito na produtividade.

Metodologia

O trabalho foi desenvolvido no período de setembro de 2001 a agosto de 2003, em área agroecológica do Pólo do Centro Sul (APTA/DDD), em Piracicaba, SP, (22°42'S, 47°38'W e 560 m de altitude) em um solo Latossolo Vermelho eutroférico, textura média (EMBRAPA, 2006), cujas características químicas em amostras coletadas antes do plantio da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, e analisadas conforme metodologias descritas em

RAIJ et al. (2001) são apresentadas na Tabela 1.

O plantio da cana-de-açúcar foi realizado em setembro de 2001, utilizando-se do cultivar RB 72-454, com o primeiro corte realizado em setembro de 2002, que produziu em média 115,50 t ha⁻¹. A semeadura dos adubos verdes foi realizada no final de novembro de 2002, nas entrelinhas da primeira soca no sistema de consórcio.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com cinco repetições e nove tratamentos (oito plantas de cobertura e uma testemunha). As plantas utilizadas como adubos verdes foram: mucuna-anã (*Mucuna deeringiana* (Bort.) Merrill), girassol (*Helianthus annuus* L.) cv. IAC-Uruguai, *Crotalaria ocrholeuca* L., *Crotalaria mucronata* L., *Crotalaria brevifolia* L., guandu-anão (*Cajanus cajan* L. Millsp.) cv. IAPAR-43, *Crotalaria juncea* L. var. IAC-1, e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* DC). Os adubos verdes foram semeados em duas linhas espaçadas de 0,5 m com 10 m de comprimento. Após 120 dias da semeadura, em março de 2003, foram amostrados 1 m² de área útil de cada parcela, para avaliar produtividade de massa de matéria seca dos adubos verdes.

A parcela experimental de cana-de-açúcar continha cinco linhas de 10 m espaçadas de 1,40 m, sendo amostradas três linhas de 2 m lineares para levantamento de produtividade de colmos, que foi tomada em duas épocas, em maio (21/05/2003), e em 12 de agosto de 2003 junto à colheita industrial da cana.

A altura da planta foi avaliada medindo-se a distância entre o colo da planta e o palmito, com auxílio de uma régua graduada. O diâmetro de colmo, tomado no terço médio da cana, foi feito com auxílio de um paquímetro.

Os adubos verdes foram arrancados e separados em parte aérea e raízes, a seguir, colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar, a uma temperatura de 60°C. Após a secagem, amostra seca foi moída, em moinho tipo Willey, e realizada as determinações dos teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn (BATAGLIA et al., 1983). Desse material vegetal da parte aérea e raízes, foi retirada uma amostra para a determinação do teor de umidade. Os teores de carbono foram determinados em espectrômetro de massa no tipo ANCA SL.

As análises de $\delta^{15}\text{N}$ foram realizadas em espectrômetro de massas no tipo ANCA SL do Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP, conforme metodologia descrita em BARRIE e PROSSER (1996). Utilizou-se como planta controle para os cálculos da FBN o girassol cultivar IAC-Uruguai, por se tratar de uma planta não fixadora de N. Para o cálculo da FBN foi utilizado a Equação 1:

$$\% \text{ FBN} = 100 (\delta^{15}\text{N}_{\text{girassol}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{planta fixadora}}) / (\delta^{15}\text{N}_{\text{girassol}})$$

Após a análise exploratória dos dados das variáveis estudadas aplicou-se análise de variância (ANOVA) para o delineamento em blocos

Tabela 1: Resultado da análise química de solo de amostras coletadas antes do início do experimento, Piracicaba, SP, Brasil.

Profundidade	pH	M.O.	P	Ca	Mg	K	Al+H	Al	SB	CTC	V
	CaCl ₂		resina								
m		g dm ⁻³	mg dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³		%
0,0-0,2	5,5	19,8	13,2	32,8	21,4	0,64	23,4	10	54,8	78,5	68,4
0,2-0,4	5,5	18,8	10,4	28,8	19,2	0,40	25,4	11	48,4	74,1	64,4

casualizados e teste de Scott-Knott para comparar os tratamentos e teste F para as épocas de amostragem da cana-de-açúcar. O nível de significância adotado foi de 5% e utilizado o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000). Para fins de análise de variância os dados de nutrientes e raízes, materiais vegetal verdes, dos adubos verdes foram transformados em raiz quadrada de (x) e para o material vegetal seco de raízes, em log (x+1).

Resultados e discussão

Os adubos verdes apresentaram um adequado crescimento nas entrelinhas da cana-de-açúcar, destacando-se a crotalária-juncea, a crotalária-mucronata e o feijão-de-porco como os mais produtivos, apesar de que a crotalária-juncea se destacou dos demais, por apresentar, ao mesmo tempo, maior peso seco de raízes e de sementes produzidas (Tabela 2).

Diversos autores encontraram produtividades semelhantes para crotalária-juncea, o que confirmam sua capacidade de produção de quantidades expressivas de fitomassa em cultivo solteiro. Perin et al. (2004) determinaram, aos 68 dias após a semeadura (DAS), obtiveram 9,34 t ha⁻¹ de matéria seca de crotalária; valor inferior ao constatado por Duarte Junior e Coelho (2008), aos 92 DAS (17,85 t ha⁻¹). Já Alcântara et al. (2000), avaliando o efeito das leguminosas na recuperação da fertilidade de um latossolo Vermelho-Escuro degradado, obtiveram produtividade de 6,5 t ha⁻¹ de matéria seca de crotalária. Dourado et al. (2001) constataram produtividade de 11,30 t ha⁻¹ de matéria seca de crotalária com adubação fosfatada e poda aos 105 DAS. Pereira et al. (2005), ao compararem densidade populacional (5,10 20 e 40 plantas por metro linear) e épocas de semeadura (outono-inverno e primavera-verão) da crotalaria-juncea, constataram, na densidade de 40 plantas

Tabela 2: Massa verde e seca de parte aérea, raízes, produção de sementes, potencial de fixação biológica do nitrogênio e relação carbono: nitrogênio (C/N) dos adubos verdes utilizados em consórcio nas entre linhas da cana-de-açúcar.

Tratamentos	Parte aérea		Raízes		Sementes	FBN	C/ N
	Massa verde	Massa seca	Massa verde	Massa seca	Massa seca		
			g.m ⁻²			%	--
Mucuna-anã	820 d	690* b	-	-	127,68 a	56	27
Girassol	1080 d	960 b	29,90 d	18,46 c	43,72 a	--	164
C. ochroleuca	2620 c	1070 b	144,53 c	47,27 c	2,52 c	99	15
C. mucronata	5230 b	2050 a	247,47 b	74,53 b	89,11 a	90	29
C. breviflora	1160 d	870 b	91,79 c	49,55 c	26,87 b	88	36
Guandu-anão	2880 c	1020 b	174,28 b	68,19 b	73,29 b	79	19
C. juncea	6560 a	2820 a	334,99 a	118,39 a	136,77 a	88	21
Feijão-de-porco	4810 b	1560 a	53,38 d	23,15 c	94,97 a	76	17
Média	3150	1380	153,76	57,07	75,00		
C.V.%	24,29	27,10	28,09	43,80	28,58		

Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (p≤0,05).

FBN=Fixação biológica do nitrogênio; C/N=Relação carbono nitrogênio

*Massa considerando a semeadura em área total. Para efeitos de produtividade real considerar metade da área semeada com adubos verdes.

m⁻¹ e no espaçamento entrelinhas de 0,30 m, produtividades de 6,8 t ha⁻¹ e 10,7 t ha⁻¹ de matéria seca, respectivamente nos períodos de outono-inverno e de primavera-verão. Essa produtividade de fitomassa foi obtida em sulcos espaçados de 0,30 m entre si, na densidade de 30 plantas por metro linear, com (época de corte 60 e 125 dias após a semeadura). Resultados semelhantes foram encontrados por Ambrosano et al., (2011) que encontraram 9,15 t ha⁻¹ para a crotalária-júncea em cultivo solteiro nas áreas de reforma do canavial e semelhantes aos 9,02 t ha⁻¹ encontrados por Prellwitz e Coelho (2011) quando cultivaram 2 linhas de crotalária-júncea semeadas 44 dias após o corte industrial da cana-de-açúcar de primeiro corte, contudo um pouco abaixo das 14,10 t ha⁻¹ encontradas nesse trabalho, indicando que as produtividades encontradas podem ser facilmente reproduzidas pelos agricultores, desde que respeitado o limite máximo de dezembro para a semeadura das leguminosas.

Os resultados de N encontrado nas leguminosas proveniente da fixação biológica do nitrogênio (FBN) e a relação carbono nitrogênio (C/N) encontram-se na Tabela 2. Os valores indicam uma alta ocorrência de nitrogênio derivado da FBN e uma baixa relação C/N das leguminosas, em comparação com o girassol. Nota-se que os menores valores para relação C/N foram para a crotalária-ochroleuca, crotalária-júncea e feijão-de-porco, que ficaram abaixo de 25.

A maioria dos estudos indica a relação C/N de 25 como o ponto de equilíbrio, onde inferior a esta começa a ocorrer liberação de N para o solo. Esta baixa relação C/N condiciona mais rápida decomposição do material, tornando seus elementos nutrientes prontamente disponíveis. Ressalta-se, entretanto, que esses processos ocorrem no solo simultaneamente, podendo ocorrer reimplantação e remineralização do mesmo “pool” de N. Contudo, uma desvantagem dessa rápida

decomposição é a dificuldade de formar palha na superfície. Por outro lado, uma grande vantagem é proporcionar rápida decomposição da palha de cana-de-açúcar encontrada no sistema de colheita de cana crua, sem queima, que por sua vez, possui alta relação C/N.

PERIN et al. (2006) determinou a quantidade de nitrogênio fixado pela crotalária-júncea em um sistema de rotação com milho e encontrou uma quantidade substancial de nitrogênio vindo da FBN presente na parte aérea da crotalária-júncea (57%) quando cultivada isoladamente e 61% quando crescida consorciada com milho (na proporção de sementes de 50% + 50%). Já Ambrosano et al. (2010 e 2011) encontraram resultados de 69% do total de nitrogênio da crotalária-júncea proveniente da FBN.

Observa-se na Tabela 3 que não houve uma espécie que apresentasse altos teores de todos os elementos nutrientes de plantas; contudo, o feijão-de-porco, o guandu-anão e a crotalária-ochroleuca foram às espécies que apresentaram os maiores teores da maioria dos nutrientes e de um número maior de nutrientes. Vale destacar que a mucuna-anã apresentou altos teores de micronutrientes em seus constituintes.

Contudo, comparando-se as produtividades de matéria seca das diferentes espécies utilizadas no cultivo intercalar com a cana (Tabela 2) com os respectivos teores de nutrientes na parte aérea (Tabela 3), constata-se que as quantidades de nutrientes acumuladas tem relação direta, também, com a quantidade de matéria seca produzida.

Normalmente, a capacidade de absorção e de imobilização de nutrientes de leguminosas segue a mesma tendência da produção de biomassa. Alvanrenga et al. (1995) observaram que a produção de biomassa e o acúmulo de nutrientes pela parte aérea, de modo geral, foram maiores no guandu, seguido pela crotalária-júncea. O feijão-de-porco destacou-se quanto à velocidade inicial e

Tabela 3: Caracterização química da parte aérea dos adubos verdes.

Tratamentos	N	P	K*	Ca*	Mg*	Cu	Fe*	Mn*	Zn*
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹			
Mucuna-anã	14,71 b	1,02 c	1,13 b	9,17 b	3,09 b	30,4 a	796,5 a	78,6 a	26,3 a
Girassol	3,06 d	0,56 c	6,24 a	8,24 b	4,89 a	5,7 c	150,3 b	44,0 b	26,9 a
C. ochroleuca	28,62 a	1,58b	16,24 a	7,74 b	2,80 b	7,2 c	186,4 b	106,7 a	23,8 a
C. mucronata	15,32 b	1,24 c	9,66 a	7,11 b	4,41 a	7,4 c	136,3 b	43,7 b	17,3 b
C. breviflora	12,00 c	1,41 c	12,22 a	4,76 c	3,94 b	9,0 c	94,1 b	13,3 c	14,1 c
Guandu-anão	21,43 a	3,02a	9,25 a	5,86 b	2,06 b	17,4 b	170,5 b	53,6 b	24,1 a
C. juncea	10,35 c	0,78 c	6,06 a	5,83 c	2,80 b	9,7 c	201,9 b	49,8 b	17,8 b
F.-de-porco	27,15 a	2,07b	11,03 a	15,18 a	3,13 b	6,8 c	130,3 b	54,6 b	22,5 a
C.V. %	14,25	18,16	26,76	19,28	19,13	17,87	33,44	17,61	8,10

Médias seguidas de letras distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

porcentagem de cobertura do solo. A crotalária-júncea e o caupi, seguidos do guandu, foram as espécies que apresentaram maior relação C/N, o que implicou em liberação mais lenta de nutrientes.

Os rendimentos de fitomassa e a extração de nutrientes por adubos verdes variam com o genótipo, época de semeadura, práticas de manejo, condições edáficas e climáticas, época de cultivo, além da população de plantas. Portanto, faz-se necessário o estudo da adaptação das diferentes espécies em escala regional. Fatores como a época de semeadura e o ambiente (umidade temperatura, luminosidade, entre outros) interferem na produção de biomassa e na concentração de nutrientes nos adubos verdes. Nesse contexto, Amabile et al. (1999) observaram que os teores e as quantidades absorvidas de N, P e K são influenciados tanto pela época de semeadura como pela espécie; porém, não sofrem efeito do espaçamento entre linhas e da população de plantas. Consequentemente, na seleção de adubos verdes visando o fornecimento de nutrientes deve-se considerar também a época de semeadura.

Nota-se pela Tabela 3 os maiores teores de fósforo no guandu-anão, os maiores teores de nitrogênio na crotalária-ochroleuca, feijão-de-

porco e guandu-anão. Com relação ao potássio, os maiores teores foram nas leguminosas crotalária-ochroleuca, crotalária-breviflora e feijão-de-porco. Já os maiores teores de cálcio foram nas leguminosas feijão-de-porco, mucuna-anã e para o girassol, sendo que a mucuna-anã também apresentou os maiores teores de micronutrientes, indicando ser um importante aliado na nutrição desses micro elementos.

Vale destacar também o potencial da espécie guandu-anão IAPAR-43, que apresentou o maior teor de fósforo, indicando seu poder de absorver esse elemento nutriente essencial, a exemplo do observado em outros estudos (ALCÂNTARA et al., 2000). Assim, a inclusão de leguminosas como o guandu pode representar excelente opção para diversificar sistemas agrícolas intensivos. Essas espécies são capazes de fixar consideráveis quantidades de N do ar, além de acumular na sua biomassa nutriente originários de locais não acessíveis às plantas e dinamizarem a ciclagem dos nutrientes (ZARAHARAH et al., 1999). Alves et al. (2004) encontraram na biomassa oriunda de faixas de guandu após a poda a média de 11 t ha⁻¹ de matéria seca, contendo 283 e 23 kg ha⁻¹ de N e P, respectivamente, indicando, portanto, um grande acúmulo de fósforo também.

Ambrosano et al. (2011) encontraram os maiores acúmulos para crotalária-juncea e mucuna-preta, alcançando quantidades de 221 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio e 76 e 48 kg ha⁻¹ de potássio acumulados. Resultados ainda maiores foram alcançados por Caceres e Alcarde (1995) que encontraram acúmulos de 235 e 102 kg ha⁻¹ de nitrogênio e potássio, respectivamente, para crotalária-juncea e menores para mucuna-preta de 81 e 37 kg ha⁻¹ de nitrogênio e potássio, respectivamente, indicando o grande potencial de incorporação de nitrogênio e reciclagem de potássio dessas plantas.

As diferentes espécies de adubos verdes não influenciaram a altura da planta e o diâmetro de colmos comparados à testemunha. Resultados semelhantes foram também observados por Prellwitz e Coelho (2011), em cana-de-açúcar consorciada com *Crotalaria juncea*, em que não se constataram efeitos significativos ($P > 0,05$) no

comprimento e no diâmetro dos colmos nos tratamentos, os quais foram, em média, 2,12 m e 1,48 cm, respectivamente. Miranda et al. (2011) verificaram que a testemunha apresentou-se limitando significativamente a altura das plantas e com comportamento similar ao tratamento em que se utilizou a *Crotalaria juncea* como adubação verde em pré-plantio da cana; no entanto, houve efeito positivo com o uso de *Crotalaria juncea* + composto e *Crotalaria juncea* + adubo, indicando benefício da associação entre os componentes utilizados no crescimento da planta. Já o diâmetro do colmo, assim como no presente estudo, não foi influenciado pelos distintos tratamentos.

A produtividade de colmos (TCH), à exceção da crotalária-juncea, foi semelhante com o consórcio da cana as distintas espécies e à produtividade da testemunha (Tabela 4). A produtividade de colmos foi influenciada negativamente pela crotalária-júncea cultivada nas entrelinhas da cana-soca Tal

Tabela 4: Altura, diâmetro do colmo e toneladas de cana-de-açúcar por hectare (TCH) do cultivar RB 72-454 cultivado em consórcio com leguminosas adubos verdes.

Tratamentos		Altura	Diâmetro	TCH
		m	mm	t ha ⁻¹
Tratamentos*	Mucuna-anã	3,19 a	26,52 a	70,00 a
	Girassol	3,10 a	26,15 a	58,68 a
	Testemunha	3,13 a	26,96 a	72,47 a
	C. ochroleuca	3,13 a	26,63 a	78,76 a
	C. mucronata	3,00 a	26,27 a	66,75 a
	C. breviflora	2,98 a	26,19 a	65,71 a
	Guandu-anão	3,12 a	25,47 a	69,75 a
	C. juncea	3,06 a	26,00 a	42,61 b
	Feijão-de-porco	3,06 a	26,47 a	65,00 a
Épocas**	Amostra 21/05/03	3,87 A	26,31 A	66,81 A
	Amostra 12/08/03	2,30 B	26,28 A	64,24 A
	Média	3,08	26,29	65,52
	C.V.% parcela	7,36	5,53	26,67

*Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

**Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste F ($p \leq 0,05$).

fato, possivelmente ocorreu em razão do elevado potencial de crescimento desta espécie que pode ter apresentado um efeito de competição, acarretando a queda de produtividade da cana. Resultados distintos foram observados por Xavier (2002) em que a crotalaria-juncea não causou efeitos adversos no crescimento e na qualidade tecnológica da cana, embora antes do corte da leguminosa não tenha ocorrido uma transferência significativa de nitrogênio diretamente do adubo verde para a cana, após o corte e incorporação, a raiz e a parte aérea da crotalaria foram importantes fonte deste nutriente para a cana e a FBN através da adubação verde contribuiu, no final do experimento, com até 53% do nitrogênio acumulado pela cana-de-açúcar. Já Resende (2000) observou que a *Crotalaria spectabilis*, de crescimento inicial mais lento que as leguminosas *Crotalaria juncea*, *Canavalia ensiformis* e *Mucuna deerigiana*, apresentou os melhores resultados em cultivo intercalar com a cana-de-açúcar, por não interferir no perfilhamento da cultura, favorecendo em 16% a produção de colmos (média de 2 anos) comparada à cana solteira.

Ressalta-se que na literatura a maioria dos resultados satisfatórios são observados ao longo do tempo, portando, este assunto ainda demanda estudos, inclusive abrangendo outras espécies com potencial de uso na adubação verde, visto que com a colheita mecânica de cana crua permanece no solo grande quantidade de palha, e os adubos verdes podem suprir a demanda de nitrogênio para a decomposição desta palha, que apresenta alta relação C/N, além de minimizarem os efeitos adversos do monocultivo da cana, mediante a reciclagem de nutriente e FBN, no caso de leguminosas.

Conclusões

Recomenda-se o cultivo intercalar de adubos verdes na cana de primeira soca. As leguminosas

utilizadas apresentaram valor alto para fixação biológica do nitrogênio, indicando, assim, grande potencial para suprir ou contribuir para uma adequada nutrição nitrogenada da cana-de-açúcar. O feijão-de-porco, o guandu-anão e a crotalaria-ochroleuca se destacaram dos demais adubos verdes por apresentarem maiores teores da maioria dos nutrientes de plantas e a mucuna-anã por apresentar maiores teores de micronutrientes.

Agradecimentos

Ao CNPq pelo apoio (bolsa de produtividade em pesquisa do primeiro autor e bolsa de Pós-doutorado ao quinto autor).

Referências Bibliográficas

- ALBUQUERQUE, G.A.C. de et al. **Adubação verde e sua importância econômica**. Boletim IAA/PLANALSUCAR-COONE, Rio largo, 1980. 10p.
- ALCÂNTARA, F.A. de et al. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um latossolo vermelho-escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.2, p.277-288, 2000.
- ALVARENGA, R.C. et al. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.2, p.175-185, 1995.
- ALVES, S.M.C. et al. Balanço do nitrogênio e fósforo em solo com cultivo orgânico de hortaliças após a incorporação de biomassa de guandu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1111-1117, 2004.
- AMABILE, R.F. de et al. Absorção de N, P e K por espécies de adubos verdes cultivadas em diferentes épocas e densidades num latossolo vermelho-escuro argiloso sob cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.4, p.837-845, 1999.
- AMABILE, R.F. et al. Comportamento de espécies de adubos verdes em diferentes épocas de semeadura e espaçamentos na região dos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.1, p.47-54, 2000.
- AMBROSANO, E.J. et al. 15N-labeled nitrogen from green manure and ammonium sulfate

- utilization by the sugarcane ratoon. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.68, n.3, p.361-368, 2011.
- AMBROSANO, E.J. et al. Crop rotation biomass and arbuscular mycorrhizal fungi effects on sugarcane yield. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.67, n.6, p.692-701, 2010.
- AMBROSANO, E.J. et al. Leguminosas: alternativas para produção ecológica de grãos em diferentes regiões agroecológicas do Estado de São Paulo. In: AMBROSANO, E.J. (coord.) **Agricultura Ecológica**. 1ed. Guaíba: Agropecuária, 1999. p.161-178.
- AMBROSANO, E.J. et al. Utilization of nitrogen from green manure and mineral fertilizer by sugarcane. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.62, n.6, p.534-542. 2005.
- BARRIE, A.; PROSSER, S.J. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. In: BOUTTON, T.W.; YAMASAKI, S. (Ed.). **Mass Spectrometry of Soils**. New York: Marcel Dekker, 1996, p.1-46.
- BATAGLIA, O.C. et al. **Métodos de análises químicas de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).
- CARVALHO, A.M. de; AMABILE, R.F. Plantas condicionadoras de solo: interações edafoclimáticas, uso e manejo. In: CARVALHO, A.M. de; AMABILE, R.F. (Org.). **Cerrado: adubação verde**. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2006. Cap.4, p.143-170.
- CLEVELAND, C.C. et al. Global patterns of terrestrial biological nitrogen (N₂) fixation in natural ecosystems. **Global Biogeochemical Cycles** v.13, n.2, p.623-645, 1999.
- DONIZETE, J.A. (2009) **Adubação verde na implantação e reforma de canaviais**. Disponível em: <http://www.pirai.com.br/images/03_02_Gr.pdf> Acesso em: 06 de novembro de 2011.
- DOURADO, M.C. et al. Matéria seca e produção de grãos de *Crotalaria juncea* L. submetida à poda e adubação fosfatada. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.2, p.287-293, 2001.
- DUARTE JÚNIOR, J.B.; COELHO, F.C. A cana-de-açúcar em sistema de plantio direto comparado ao sistema convencional com e sem adubação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.6, p.576-583, 2008.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPq, 2006. 306p.
- FARIA, S.M.; LIMA, H.C. Additional studies of the nodulation status of legume species in Brazil. **Plant and Soil**, Amsterdam, v.200, p.85-192, 1998.
- FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do SISVAR para windows versão 4.0. In: **45a Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria**. UFSCAR, São Carlos, SP, p.255-258, 2000.
- LUZ, P.H.C. et al. **Utilização de adubação verde na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ: GAPE: Usina São Manoel, 2005. 53 p.
- MIRANDA, J.M. et al. Associação da crotalaria com adubação orgânica e mineral na produtividade da cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.27, n.6, p.948-953, 2011.
- ORLANDO FILHO, J. et al. **Doses, fontes e formas de aplicação de nitrogênio em cana-de-açúcar**. STAB. Açúcar, Alcool & Subprodutos, v.17, p.39-41, 1999.
- PENATTI, C.P. et al. Doses de nitrogênio em cana-planta. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7., Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Centro de Tecnologia da COPERUCAR, 1997. p.340-349.
- PEREIRA, A.J. et al. **Desempenho agrônomo de *Crotalaria juncea* em diferentes arranjos populacionais e épocas do ano**. Comunicado Técnico n. 82, Centro Nacional de Pesquisa de Biologia do Solo. 2000. 4p.
- PERIN, A. et al. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.1, p.35-40, 2004.
- PRELLWITZ, W.P.V.; COELHO, F.C. Produtividade de colmos, índice de área foliar e acúmulo de N na soca de cana-de-açúcar em cultivo intercalar com *Crotalaria juncea* L. **Revista Ceres**, Viçosa, v.58, n.6, p.773-780, 2011.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.
- RESENDE, A.S. A fixação biológica de nitrogênio (FBN) como suporte da produtividade e fertilidade nitrogenada dos solos na cultura de cana-de-açúcar: Uso de adubos verdes. Seropédica, Rio de Janeiro, 2000. 124p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal

- Rural do Rio de Janeiro, 2000.
- SAKAI, R.H. et al. Agronomic evaluation of four species of mucuna used as green manure in agroecological systems. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Passo Fundo, v.2, p.910-913, 2007.
- SCIVITTARO, W.B. et al. Utilização de nitrogênio de adubos verdes e mineral pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.4, p.917-926, 2000.
- TRENTO FILHO, E. Consorciação intercalar em linha com crotalaria e feijão-guandu anão na soqueira de cana-de-açúcar. 2009. 28p. Dissertação (Mestrado) Universidade do Oeste Paulista.
- XAVIER, R.P. Adubação verde em cana-de-açúcar: influência na nutrição nitrogenada e na decomposição dos resíduos da colheita. Seropédica, Rio de Janeiro, 2002. 108p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- ZARAHARAH, A.R. et al. Management of gliricidia (*Gliricidia sepium*) residues for improved sweet corn yield in an Ultisol. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, Amsterdam, v.54, n.1, p.31-39, 1999.