

Acúmulo de biomassa e nutrientes por adubos verdes e produtividade da cana-planta cultivada em sucessão, em duas localidades de São Paulo, Brasil

Mass and nutrient accumulation by green manures and sugarcane plant yield grown in succession, in two locations of Sao Paulo, Brazil

AMBROSANO, Edmilson José¹; FOLTRAN, Dulcineia Elizabete²; CAMARGO, Mônica Sartori¹; ROSSI, Fabrício³; SCHAMMASS, Eliana Aparecida⁴; SILVA, Edson Cabral da⁵; AMBROSANO, Gláucia Maria Bovi⁶; DIAS, Fábio Luis Ferreira¹

1 APTA/IAC - Pólo Regional Centro-Sul, DDD/Apta, Piracicaba/ SP, Brasil, ambrosano@apta.sp.gov.br, mscamargo@apta.sp.gov.br, fabio@apta.sp.gov.br; 2 APTA/IAC - UPD Tietê - Pólo Regional Centro Sul, DDD/Apta, Piracicaba/ SP, Brasil, dulcineia@apta.sp.gov.br; 3 FZEA/USP Depto. de Zootecnia. Engenharia de Biosistemas, Pirassununga/ SP, Brasil, fabricio.rossi@usp.br; 4 Instituto de Zootecnia, Bioestatística, Nova Odessa, SP/ Brasil, eliana@iz.sp.gov.br. 5 Bolsista de Pós-Doutorado do CNPq junto ao CENA/USP, Piracicaba/ SP, Brasil, ecsilva@cena.usp.br; 6 UNICAMP/FOP Depto. de Odontologia Social, Bioestatística, Piracicaba, SP, Brasil, glaucia@fop.unicamp.br.

RESUMO: Os objetivos deste trabalho foram avaliar a produção de massa de matéria seca, o acúmulo de nutrientes e infecção natural por fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) de espécies de adubação verde e quantificar a produtividade agrícola e industrial da cana-planta cultivada em sucessão às espécies de adubos verdes, em duas localidades do estado de São Paulo, Brasil. O experimento foi conduzido no período de outubro de 2006 a agosto de 2008 em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, localizado em Tietê, SP, e em um Argissolo Vermelho, distrófico, localizado em Piracicaba, SP. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados com 13 tratamentos (12 espécies de adubação verde e um tratamento testemunha, mantido capinado) e cinco repetições, em ambos locais. Os tratamentos foram semeados de outubro a novembro de 2006. O corte dos adubos verdes foi feito em janeiro de 2007. A cana-de-açúcar cv. IAC87-3396 permaneceu no campo por 18 meses e a colheita foi realizada em agosto e setembro de 2008. A crotalária-júncea cv. IAC-1, os guandus cv. IAC - Fava Larga e cv. IAC - Anão, apresentaram maiores produções de massa da matéria seca; maior acumulação de nutrientes; os níveis mais elevados de produtividade agrícola e industrial da cana-de-açúcar foram obtidos em sucessão a crotalária-júncea IAC-1, guandu IAC - Fava Larga e mucunas preta e verde. A maior taxa de infecção natural por FMAs foi observada nos tratamentos com soja, crotalária-júncea IAC-1, girassol IAC-Uruguaí, feijão-mungo e guandu IAC- Fava Larga em Tietê, SP, não se observando diferenças na infestação na localidade de Piracicaba, SP.

PALAVRAS-CHAVE: *Saccharum* spp., Fabaceae, Asteraceae, fixação biológica de nitrogênio, colonização micorrízica, reciclagem de nutrientes.

ABSTRACT: The study aimed to evaluate and characterize the yield of dried plant material of plants cultivate after previous cover crop with sugarcane, its natural infection by arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and its relation to agricultural and industrial yield of sugarcane. The experiment was carried out from October 2006 to August 2008 in Hapludox soil, at Tietê, and a Paliudalf soil at Piracicaba, SP, Brazil. We used randomized complete block design with 13 treatments and five replications, in two locations. The treatments were sown in October and November 2006. The harvest of green manures was done in January 2007. Sugarcane planting (Cv. IAC87-3396) was made of in each plot, staying on the field for 18 months and harvested in August and September 2008. For the green manure sunn hemp IAC-1, and pigeon pea IAC-Fava Larga and IAC-dwarf showed the best production of dried plant material, the higher accumulation of nutrients and increased agricultural and industrial yield of sugarcane, behind velvet beans black and green. The largest percentage of mycorrhizal infection by AMF was observed in treatments with soybean, sunn hemp IAC-1, sunflower IAC-Uruguay, mung beans and pigeon beans IAC- Fava Larga at Tietê, SP. No difference was observed in percentage of mycorrhizal infection by AMF at Piracicaba, SP.

KEY WORDS: *Saccharum* spp., green manure, legume, biological nitrogen fixation, nutrient cycling.

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

Aceito para publicação em 01/01/2013

Introdução

A cultura canavieira no Brasil, em expansão em solos de baixa fertilidade natural, necessita da manutenção de um nível adequado de nutrientes no solo para sustentar produções econômicas. O cultivo de adubos verdes (AVs) em áreas de reforma do canavial não implica em perda de um ano agrícola e nem interfere na brotação da cana-de-açúcar; apresenta custos relativamente baixos e promove aumentos significativos na produção de colmos, de açúcar e de álcool, pelo menos até o segundo corte. O manejo de AVs, dependendo da espécie e das quantidades de N e K recicladas no solo, pode substituir integralmente a aplicação desses nutrientes até o segundo corte (LUZ et al., 2005; AMBROSANO et al., 2011a). Adicionalmente, protege o solo contra a erosão e evita multiplicação de plantas espontâneas (AMBROSANO et al., 2005).

O N é um dos nutrientes absorvidos em maior quantidade pela cana-de-açúcar, sendo superado apenas pelo K. Para produção de 100 toneladas de colmos, a cana-de-açúcar extrai do solo de 200 a 300 kg de N (TRIVELIN et al., 1995). Espécies leguminosas de adubação verde promovem a fixação biológica de nitrogênio (FBN) e possibilita a reposição das perdas de N do solo exportado pelas culturas econômicas, contribuindo para a melhoria da qualidade dos solos tropicais, na substituição ou complementação da adubação mineral e recomposição da fertilidade dos solos agrícolas (AMBROSANO et al. 1999; SCIVITTARO et al., 2000).

Na cultura da soja, opção de rotação quando da reforma do canavial, a FBN contribui de forma direta com até 85% do N acumulado pela planta, o que permite ao Brasil uma economia de N-fertilizante mineral de US\$ 2,4 bilhões ao ano; esse é o melhor exemplo do sucesso da FBN na América Latina (URQUIAGA et al., 2005).

As leguminosas também formam associações com os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs).

Tais associações auxiliam na nutrição, especialmente de fósforo, e no crescimento das espécies hospedeiras (AZCÓN et al., 1999). O manejo de espécies colonizadas por FMAs pode aumentar o potencial de inóculo micorrízico do solo e beneficiar as plantas cultivadas em sucessão (PANJA & CHAUDHURI, 2004), (ESPÍNDOLA et al. 1998).

Os objetivos deste trabalho foram avaliar a produção de massa de matéria seca, o acúmulo de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e infecção natural por FMAs em espécies de adubação verdes e quantificar a produtividade agrícola e industrial da cana-planta cultivada em sucessão às espécies de adubos verdes, em duas localidades de São Paulo, Tietê e Piracicaba.

Material e métodos

Os experimentos foram desenvolvidos em Tietê, SP (23°07'S, 47°43'W e 538 m de altitude), e em Piracicaba, SP (22°42'S, 47°38'W e 560 m altitude), em Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico e Argissolo Vermelho distrófico, respectivamente (EMBRAPA, 2006), no período de outubro de 2006 a agosto de 2008. Figura 1 apresenta os dados de precipitação pluvial e temperaturas máximas e mínimas coletados durante a condução dos experimentos.

As amostras de solo foram coletadas antes do início do experimento, em julho de 2006, nas profundidades de 0-0,2 e 0,2-0,4 m, e foram analisadas conforme RAIJ et al. (2001) (Tabela 1).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com 13 tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram 12 espécies de adubos verdes utilizadas em pré-cultivo da cana-de-açúcar: Amendoim (*Arachis hypogaea* L.) cv. IAC-Tatu e Amendoim IAC-Caiapó; Crotalaria-júncea (*Crotalaria juncea* L.) cv. IAC-1; Mucuna-preta (*Mucuna aterrimum* Piper and Tracy); Soja (*Glycine max* L. Merrill) cv. IAC-23; Girassol (*Helianthus annuus* L.) cv. IAC-Uruguai e cv. IAC-

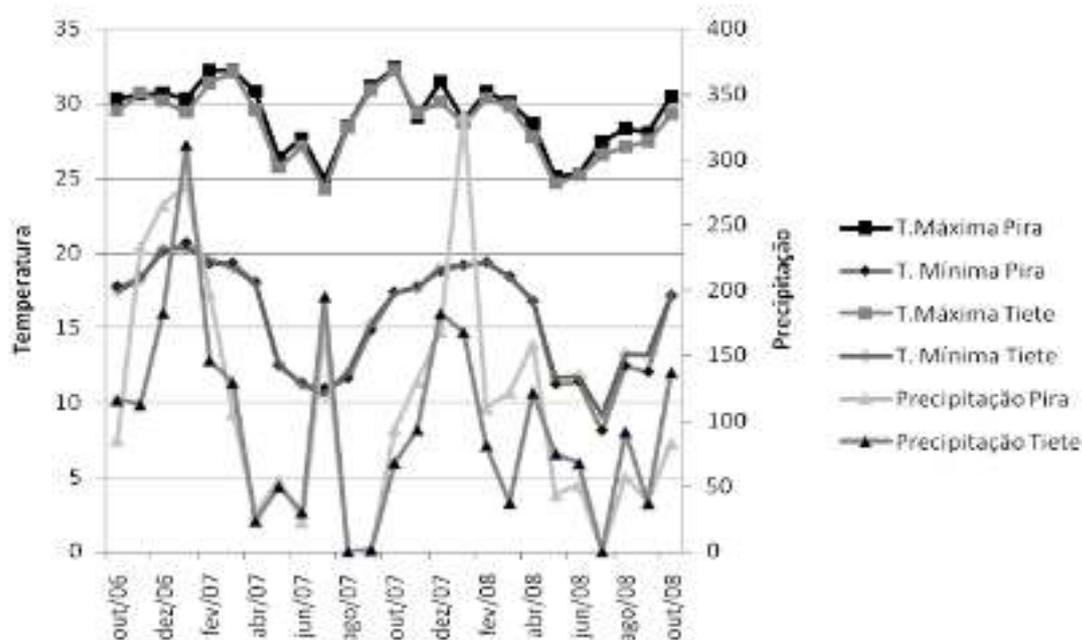


Figura 1: temperaturas máximas e mínimas e precipitação pluviométrica em Piracicaba e Tietê, SP, durante o período de outubro de 2006 a outubro de 2008.

larama; Feijão-mungo (*Vigna radiata* L. Wilczek); Mucuna-cinza (*M. cinerea* L.); Mucuna-verde (*M. pruriens* (L.) DC. var. verde); Guandu (*Cajanus cajan* L.) cv. IAC-Fava Larga e cv. IAC-Anão; e tratamento testemunha, sem manejo de adubação verde, mantido capinado.

Apesar da indicação de necessidade de correção da acidez do solo (Tabela 1), a acidez do solo e os níveis de fertilidade não foram corrigidas para as culturas de adubação verde, seguindo-se recomendação de Mascarenhas et al. (1994) e observações de Ambrosano et al. (2006), que afirmaram que as leguminosas respondem mais à fertilidade natural do solo do que à adubação direta. O experimento foi desenvolvido sem correção de pH e adubação e, dessa forma, as leguminosas puderam expressar o potencial de produção. A semeadura das espécies de adubação verde foi realizada em outubro de 2006 em Tietê,

SP, e em novembro de 2006 em Piracicaba. As parcelas experimentais tiveram a dimensão de 7 m de largura e 8 m de comprimento, utilizando-se o espaçamento de 0,5 m entre linhas. A colheita de amostras vegetais das espécies foi feita em janeiro de 2007, nas duas localidades. Desse material vegetal da parte aérea, foi retirada uma amostra para a determinação do teor de umidade em estufa de circulação forçada de ar, a uma temperatura de 60°C. Após a secagem, as amostras secas foram trituradas em moinho tipo Willey e determinaram-se os teores de N, P, K, Ca e Mg (BATAGLIA et al. 1983). Os teores de carbono foram determinados em espectrômetro de massa, conforme metodologia descrita em Barrie & Prosser (1996). A produtividade de grãos dos amendoins, soja, feijão-mungo e girassóis utilizados em rotação com cana-de-açúcar também

Tabela 1: Atributos físico-químicos dos solos das áreas experimentais localizadas nos municípios de Tietê e Piracicaba, SP, Brasil, antes do início do experimento.

Prof.	pH CaCl ₂	M.O. g dm ⁻³	P resina mg dm ⁻³	Ca	Mg	K	Al+H	Al	S	SB	CTC	V
m				mmol _c dm ⁻³			mg dm ⁻³ — mmol _c dm ⁻³ — %					
Piracicaba												
0,0-0,2	4,1	26	3	7	6	0,7	50	10	12	13,7	63,7	22
0,2-0,4	4,0	22	14	6	5	0,5	68	11	15	11,5	79,5	14
Tietê												
0,0-0,2	4,3	10	5	26	6	0,5	33	6	8	32,5	65,5	50
0,2-0,4	4,5	9	5	14	5	0,2	28	3	10	19,2	47,2	41

foi avaliada.

Amostras do sistema radicular das plantas foram avaliadas quanto à taxa de colonização natural por FMAs. O nível de colonização micorrízica foi estimado após coloração das estruturas fúngicas (PHILIPS & HAYMAN, 1970), por meio de observação ao estereomicroscópio óptico e com auxílio de uma placa reticulada, segundo metodologia proposta por Giovanetti & Mosse (1980).

Após a amostragem, a biomassa das plantas foi triturada e mantida sobre o solo e procedeu-se a sulcagem para o plantio da cana-de-açúcar diretamente sobre a cobertura vegetal. A cana-de-açúcar cv. IAC87-3396 foi plantada em fevereiro de 2007 em Tietê, SP, e em março de 2007 em Piracicaba, SP, no espaçamento de 1,40 m entre fileiras de plantas. A adubação de plantio da cana-de-açúcar foi de 500 kg ha⁻¹ da fórmula 08-28-16 (N, P₂O₅, K₂O, respectivamente).

A cana-de-açúcar foi colhida 18 meses após o plantio, em 03 de setembro de 2008 em Piracicaba, SP, e em 19 de agosto de 2008 em Tietê, SP. Coletaram-se amostras de colmos em três segmentos de 2 m lineares contínuos, no centro de cada parcela experimental. Foi determinada a massa de colmos a partir da qual se estimou a produtividade em toneladas de colmos por hectare. Foram colhidas também amostras de dez colmos de cana-de-açúcar seguidos na linha em cada

parcela (TANIMOTO, 1964), para análises tecnológicas de Brix% e pol% e para o cálculo de tonelada de pol por hectare (TPH), variáveis que permitem estimar a produtividade de açúcar.

As variáveis foram submetidas à análise de variância (ANOVA) e teste de Scott-Knott, ao nível de significância de 5%, para agrupamento das médias dos tratamentos, utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2008). Foram realizadas análises conjuntas dos dados, considerando os dois locais, de acordo com Pimentel-Gomes, 1990. Os dados referentes à concentração de nutrientes foram transformados em log (X) e os de massa da matéria seca em X^{1/2}, a fim de atender as pressuposições da análise da variância.

Resultados e discussão

A maior produção de massa de matéria seca dos adubos verdes foi obtida com a crotalaria-júncea IAC-1 para as duas localidades testadas, seguidos dos guandus e das mucunas (Tabela 2). Esses resultados concordam com os obtidos por Mascarenhas et al. (1994). Entre as plantas produtoras de grãos alimentícios o rendimento de feijão-mungo foi maior em Piracicaba. Tal fato é provavelmente devido às diferentes condições de clima e solo (Tabela 1 e Figura 1).

As produções de biomassa vegetal seca de crotalaria-júncea e mucuna-preta em Tietê (Tabela

Acúmulo de biomassa e nutrientes por adubos

Tabela 2: Produção de massa de matéria seca das espécies de adubação verde, manejadas em pré-cultivo da cana-de-açúcar, e produção de grãos das plantas alimentícias, em Tietê, SP, e Piracicaba, SP, 2006-2007.

Espécie de adubo verde	Matéria seca		Produção de grãos	
	Tietê	Piracicaba	Tietê	Piracicaba
	t ha ⁻¹			
Crotalária-júncea IAC-1	10,0 Ba	24,4 Aa	-	-
Guandu IAC-Fava Larga	7,0 Bb	22,7 Aa	-	-
Guandu IAC-Anão	6,0 Bb	14,8 Ab	-	-
Mucuna-preta	5,3 Bc	10,4 Ac	-	-
Mucuna-cinza	4,3 Bc	7,1 Ac	-	-
Mucuna-verde	4,6 Bc	9,3 Ac	-	-
Amendoim IAC-Tatu	3,2 Ad	2,6 Ad	1,55 Ab	1,25 Ab
Amendoim IAC-Caiapó	3,7 Ad	1,5 Bd	2,80 Aa	3,19 Aa
Testemunha (sem adubo verde)	-	-	-	-
Soja IAC Foscarim-31	3,2 Bd	9,0 Ac	2,70 Aa	2,97 Aa
Girassol IAC-Uruguai	3,6 Bd	9,5 Ac	1,73 Ab	1,46 Ab
Feijão-mungo	4,9 Ac	2,7 Bd	1,71 Bb	3,07 Aa
Girassol IAC-Iarama	2,4 Be	6,5 Ad	0,90 Ac	1,03 Ab
CV*(%)	19,7		24,9	

Médias seguidas de letras minúsculas iguais, nas colunas, e maiúsculas, nas linhas, pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$), respectivamente.

2) situaram-se acima das encontradas por Cáceres & Alcarde (1995) e por Ambrosano et al. (2010), que obtiveram produtividades de 7 e 3 t ha⁻¹, e de 6 e 5 t ha⁻¹, respectivamente. As produtividades de Piracicaba, SP, para estes materiais estiveram muito acima das encontradas pelos estudos citados e isso pode estar relacionado ao solo e, principalmente ao clima, visto que nessa região as plantas tiveram 160 mm de precipitação a mais.

No período de cultivo dos adubos verdes, na região de Piracicaba, além de maior precipitação, houve também maior temperatura máxima (Figura 1), o que pode explicar, em parte, o maior acúmulo de biomassa das plantas naquele local. Estes resultados indicam que as produtividades encontradas nas duas localidades podem ser facilmente reproduzidas ou melhoradas pelos agricultores, desde que respeitado o limite máximo de semeadura das plantas (dezembro) e que ocorram condições favoráveis de solo e clima.

A produtividade de grãos foi diferente entre os

cultivares de amendoim avaliado e os níveis de produtividade são considerados médios em Tietê, para ambos cultivares, e alta para cv. IAC-Caiapó e baixa para cv. IAC-Tatu em Piracicaba, conforme classes de produtividade proposto por Quaggio & Godoy (1996). No entanto, o fato de se produzir grãos nesse sistema de sucessão pode gerar uma renda extra ao produtor, que pode ser importante dentro do sistema pela agregação de valor e por ser uma rotação de culturas com a ciclagem de nutrientes, em especial nitrogênio. Ambrosano et al. (2010) encontraram produtividades baixas para os mesmos cultivares de amendoim e um custo de produção muito alto para as condições de Piracicaba. Isso pode ser devido à falta de prática de rotação nessa região, sendo que a região produtora de Ribeirão Preto pratica rotação com amendoim com excelentes resultados.

O feijão-mungo apresentou melhor resultado na produção de grãos em Piracicaba (Tabela 2). De forma semelhante ao amendoim, o feijão-mungo

representa alternativa importante de geração de renda ao produtor pela possibilidade de agregação de valor ao produto final, que seria a produção de brotos comestíveis (moyashi), segundo Ambrosano et al. (2010).

Trabalhos desenvolvidos por Panja & Chaudhuri (2004), têm mostrado a importância do pré-plantio de leguminosas para o enriquecimento de propágulos de FMAs em solo de viveiro de laranjeiras. Segundo Espindola et al. (1998), o pré cultivo de leguminosas como adubo verde aumentou o número de propágulos infectivos de fungos micorrízicos com conseqüente aumento na produtividade de batata-doce. Ambrosano et al. (2010) observaram que a infecção natural por FMAs dos adubos verdes se correlacionou positivamente com a altura da cana-de-açúcar quando do pré-cultivo de leguminosas adubo verde,

em áreas de renovação do canavial, contudo não se encontrou correlação entre % de colonização e a produtividade de cana-de-açúcar.

Os girassóis IAC-Uruguaí e IAC-Iarama, apresentaram maior relação C:N (Tabela 3), devido ao seu menor teor de N na matéria seca, que foi respectivamente de 6,47 e 4,14 g kg⁻¹ de matéria seca, comparado a 16 g kg⁻¹ de matéria seca nas demais espécies. Com relação às demais espécies, apenas o feijão-mungo e o amendoim IAC-Tatu apresentaram relação C:N acima de 30:1, o que era esperado por se tratarem de espécies leguminosas. A suscetibilidade dos resíduos vegetais à decomposição está associada à sua composição química e orgânica, sobretudo aos teores de celulose, hemicelulose, lignina, polifenóis e N e às relações entre constituintes como C:N, C:P, lignina:N, polifenóis:N e lignina + polifenóis:N

Tabela 3: Infecção natural por fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), e relação carbono e nitrogênio (C:N) dos resíduos vegetais dos adubos verdes, cultivados em Tietê, SP e Piracicaba, SP, 2006-2007.

Espécie de adubo verde	Infecção FMAs		Relação C:N	
	Tietê	Piracicaba	Tietê	Piracicaba
	%			
Crotalaria-juncea IAC-1	67 Aa	41 Ba	22Ab	21 Ab
Guandu IAC-Fava Larga	69 Aa	40 Ba	23 Ab	25 Ab
Guandu IAC-anão	53 Ab	44 Aa	27 Ab	21 Ab
Mucuna-preta	48 Ab	53 Aa	20 Ab	11 Bc
Mucuna-cinza	54 Ab	40 Aa	21 Ab	19 Ab
Mucuna-verde	53 Ab	39 Aa	22 Ab	23 Ab
Amendoim IAC-Tatu	43 Ab	30 Aa	39 Ab	39 Ab
Amendoim IAC-Caiapó	43 Ab	37 Aa	22 Ab	24 Ab
Testemunha (sem adubo verde)	-	-	-	-
Soja IAC Foscarim-31	73 Aa	52 Ba	26 Ab	13 Bc
Girassol IAC-Uruguaí	69 Aa	36 Ba	104 Aa	107 Aa
Feijão-mungo	61 Aa	36 Ba	32 Ab	33 Ab
Girassol IAC-Iarama	49 Ab	48 Aa	67 Aa	86 Aa
CV*(%)	21,8		18,9	

Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas colunas, e maiúsculas nas linhas, para cada variável, pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade.

Acúmulo de biomassa e nutrientes por adubos

(MYERS et al., 1994; CARVALHO et al., 2008, 2009, 2011). Resíduos que contenham baixas concentrações de N e de P e altos conteúdos de lignina e polifenóis apresentam baixa taxa de decomposição e liberação lenta de nutrientes (PALM & SANCHEZ, 1991; RHEINHEIMER et al., 2000). Entretanto, a relação C:N individualmente não representa bem o processo de decomposição dos materiais orgânicos, por não considerar a qualidade do carbono (CARVALHO et al., 2008).

O amendoim IAC-Caiapó, crotalária-júncea IAC-1, as mucunas preta, cinza e verde, e o guandu IAC-Fava Larga foram as plantas que apresentaram maiores relação entre produtividade de massa vegetal seca (Tabela 2) e acúmulo de nitrogênio (Tabela 5) em Tietê, SP, e os girassóis os menores valores, reflexo da fixação biológica de nitrogênio pelas espécies leguminosas. Em Piracicaba, as maiores relações entre produtividade de massa vegetal seca (Tabela 2) e acúmulo de nitrogênio (Tabela 5) foram da soja IAC-23, das mucunas cinza, preta e verde, dos

guandus IAC-anão e Fava Larga, da crotalária-júncea IAC-1 e do amendoim IAC-Caiapó.

Os maiores acúmulos de macronutrientes ocorreram na crotalária-júncea IAC-1, seguida da mucuna-preta e guandu IAC-Fava Larga, atingindo a 510 kg de nitrogênio acumulados e de 257 kg de potássio em Piracicaba, SP (Tabela 4). Em Tietê, SP, o acúmulo foi de 222 kg de nitrogênio e 123 kg de potássio (Tabela 5), indicando, assim, serem essas plantas um agente importante de incorporação e reciclagem destes nutrientes (Tabelas 4 e 5). Resultados semelhantes aos obtidos deste estudo, em Tietê, SP, foram alcançados por Cáceres & Alcarde (1995), que encontraram acúmulos de 235 e 102 kg ha⁻¹ de N e K, respectivamente, para crotalária-júncea, evidenciando o grande potencial de reciclagem destes nutrientes por essa espécie.

Independentemente do local de cultivo, a crotalária-júncea IAC-1 apresentou maior produção de matéria seca (Tabela 2), embora sem diferença significativa do Guandu IAC-Fava Larga, em

Tabela 4: Acúmulo de macronutrientes na parte aérea por espécies de adubação verde usadas em pré-cultivo da cana-de-açúcar, Piracicaba, SP, 2006-2007.

Espécie de adubo verde	N	P	K	Ca	Mg
	kg ha ⁻¹				
Crotalária-júncea IAC-1	510,47 a	41,84 a	257,20 a	188,03 a	10,91 c
Guandu IAC-Fava Larga	403,45 a	37,76 a	175,20 b	130,52 a	33,59 c
Guandu IAC-anão	289,49 b	32,09 a	108,98 c	128,79 a	55,84 b
Soja IAC-23	288,39 b	14,47 b	33,97 d	107,22 a	33,93 c
Mucuna-preta	214,35 c	17,43 b	168,43 b	82,95 b	114 a
Mucuna-cinza	158,18 c	13,93 b	83,92 c	68,25 b	19,53 c
Mucuna-verde	180,56 c	16,01 b	127,30 c	73,57 b	26,24 c
Amendoim IAC-Tatu	26,33 d	2,38 c	24,27 d	25,89 c	23,26 c
Amendoim IAC-Caiapó	26,54 d	1,65 c	27,30 d	15,89 c	10,91 c
Girassol IAC-Uruguaí	20,37 d	1,62 c	103,08 c	96,87 b	67,96 b
Feijão-Mungo	27,78 d	3,89 c	15,15 d	19,72 c	43,93 c
Girassol IAC-Iarama	28,17 d	3,76 c	51,86 d	68,88 b	55,7 b
Média	181,17	15,55	98,05	83,88	42,21
CV(%)	54,1	36,10**	27,66*	16,40**	41,70

*Transformação em raiz quadrada (x) ** -dados transformados em log(x). Médias seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade.

Tabela 5: Acúmulo de macronutrientes na parte aérea por espécies de adubação verde usadas em pré-cultivo da cana-de-açúcar, Tietê, SP, 2007.

Espécie de adubo verde	N	P	K	Ca	Mg
	kg ha ⁻¹				
Crotalária-júncea IAC-1	221,9 a	16,8 a	123,4 a	87,7 a	49,2 a
Guandu IAC-Fava Larga	132,3 b	11,7 b	93,7 a	51,1 b	17,0 c
Mucuna-preta	118,4 b	9,2 c	76,1 b	59,7 b	15,5 c
Guandu IAC-anão	99,5 c	9,4 c	67,7 b	32,4 c	10,9 c
Mucuna-cinza	89,9 c	6,6 d	45,8 b	56,7 b	16,3 c
Mucuna-verde	89,4 c	6,5 d	63,7 b	47,1 c	15,1 c
Amendoim IAC-Caiapó	70,4 c	5,8 d	74,6 b	52,0 b	21,3 b
Feijão-mungo	64,8 d	7,8 c	73,2 b	44,6 c	28,2 b
Soja IAC-23	55,6 d	8,3 c	51,9 b	36,0 c	15,8 c
Amendoim IAC-Tatu	53,5 d	4,4 e	54,2 b	59,0 b	24,4 b
Girassol IAC-Uruguai	14,6 e	4,6 e	70,6 b	34,5 c	15,6 c
Girassol IAC-larama	14,2 e	3,7 e	54,9 b	28,3 c	12,4 c
Média	85,4	7,9	70,8	49,1	20,1
CV(%)	34,79	18,82	34,59	26,69	25,94

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade.

Piracicaba, acumulando maiores quantidade de N e K (Tabelas 4 e 5), e isso pode ter influenciado positivamente o crescimento do canavial (Tabela 6). Mascarenhas et al. (1994) evidenciaram efeito positivo da adubação verde com crotalária-júncea IAC-1 em cana-de-açúcar, com produtividade superior à aplicação ao solo de 40 kg ha⁻¹ de N-mineral. Ambrosano et al. (2005) conduziram um experimento com cana-de-açúcar após rotação com crotalária-júncea IAC-1 com adição conjunta e separada de adubação mineral de nitrogênio (70 kg ha⁻¹ de N) e constataram que a cana-planta acumulou até o final do primeiro corte quantidades de N semelhantes, provenientes tanto do fertilizante mineral (sulfato de amônio) quanto do adubo verde (crotalária-júncea IAC-1). Isso implica em dizer que a crotalária-júncea IAC-1 supriu completamente as demandas da cana-planta em termos de N; contudo, a utilização das duas fontes conjuntamente implicou em um melhor rendimento da cana-de-açúcar em produção agrícola e industrial. Os autores observaram também que na cana-soca houve uma maior produção nos

tratamentos com crotalária-júncea IAC-1 e maior efeito residual do N nos tratamentos com fonte orgânica de N (AMBROSANO et al., 2011a, b).

Houve efeito do manejo pré-plantio de espécies de adubação verde sobre a produção de colmos da cana-de-açúcar em relação ao tratamento testemunha (Tabela 6). Pode-se observar que o efeito do pré-cultivo de adubos verdes nas áreas de reforma do canavial promoveu benefícios em termos do aumento da produtividade da cana-planta, com destaque o pré-cultivo com crotalária-júncea IAC-1, mucunas preta, e verde, e guandu IAC-Fava Larga. Vale notar que o crotalária-júncea IAC-1 proporcionou um aumento na produtividade de colmos de mais de 50% em relação à testemunha que não recebeu adição de material vegetal (Tabela 6).

Considerando-se a média geral da produtividade de colmos obtida nas duas localidades, verifica-se que a adubação verde em pré-cultivo da cana-planta proporcionou aumento na produtividade de 23,7% (19,72 t ha⁻¹) comparado à omissão dessa prática. Mascarenhas

Acúmulo de biomassa e nutrientes por adubos

Tabela 6: Produtividade de colmos e de açúcar aparente da cana-de-açúcar influenciada pelo cultivo prévio de adubos verdes, em Tietê e Piracicaba, SP, 2008.

Espécie de adubo verde	Produtividade de colmos			Produtividade de açúcar aparente		
	Tietê	Piracicaba	Média	Tietê	Piracicaba	Média
	t ha ⁻¹					
Crotalária-júncea IAC-1	64,32	133,29	98,81 a	10,07	22,07	16,07 a
Mucuna-preta	66,37	131,23	98,80 a	9,97	20,88	15,42 a
Guandu IAC-Fava Larga	54,09	120,70	87,39 a	8,30	19,71	14,01 a
Mucuna-verde	58,29	129,27	93,78 a	8,71	20,50	14,60 a
Mucuna-cinza	48,31	115,63	81,97 b	7,20	19,05	13,13 b
Soja IAC-23	39,15	124,13	81,64 b	5,95	19,87	12,91 b
Guandu IAC-anão	42,68	119,11	80,89 b	6,30	18,43	12,37 b
Amendoim IAC-Tatu	41,95	115,34	78,64 b	4,77	19,46	12,11 b
Feijão-mungo	35,24	116,32	75,78 b	5,13	18,29	11,71 b
Amendoim IAC-Caiapó	32,30	118,45	75,38 b	6,16	18,77	12,46 b
Girassol IAC-Uruguaí	38,35	112,21	75,28 b	5,77	18,24	12,00 b
Girassol IAC-Iarama	28,09	114,09	71,09 b	4,19	18,34	11,26 b
Testemunha sem adubo verde	32,68	94,47	63,57 b	4,69	15,21	9,95 b
Média	44,75B	118,79A		6,71B	19,14A	
C.V. %			16,18			17,49

Médias seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade e F ($p \leq 0,05$), respectivamente.

et al. (1994), observaram que, na média de três cultivos, as sucessões crotalária-júncea e mucuna-preta, proporcionaram acréscimos de produtividades de 27 e 25 t ha⁻¹ de cana e de 3,0 e 3,2 t ha⁻¹ de açúcar, respectivamente, comparados com a testemunha sem adubação verde.

A produtividade de açúcar da área manejada com crotalária-júncea foi 60% maior que o tratamento testemunha, o que representa 6,12 t ha⁻¹ de açúcar, resultado que supera os obtidos por Mascarenhas et al. (1994) e Cáceres & Alcarde (1995), que encontraram incremento de 2,98 t de açúcar por hectare. Ambrosano et al. (2010) trabalharam com sete espécies de plantas em rotação com cana-de-açúcar em áreas de reforma e encontraram aumentos na produção de açúcar em torno de 50% nos tratamentos com girassol IAC-Uruguaí e 35% para crotalária-júncea IAC-1. No presente estudo, os resultados de produtividade agrícola e industrial obtidos em Tietê, SP, foram

muito baixos em comparação com os obtidos em outros experimentos, e isso pode ser explicado, parcialmente, pelas condições de solo e clima, uma vez que no período de crescimento da cana-de-açúcar, a área em Piracicaba recebeu em torno de 250 mm de precipitação a mais que a localidade de Tietê. Além disso, a temperatura máxima esteve meio grau maior; contudo, os efeitos dos tratamentos foram evidentes em proporcionar melhoria na produtividade da cana-de-açúcar nas duas localidades.

Conclusões

O pré-cultivo de crotalária-júncea IAC-1, das mucunas preta e verde, e do guandu IAC-Fava Larga proporciona maiores rendimentos de colmos à cana-planta e de açúcar aparente, independentemente do local de cultivo.

O manejo dessas espécies pode ser recomendado em pré-cultivo como adubação verde

de sistemas de produção de cana-de-açúcar.

Agradecimentos

Ao CNPq pelo apoio (bolsa de produtividade em pesquisa do primeiro autor).

Referências Bibliográficas

- AMBROSANO, E. J. et al. Produtividade da cana-de-açúcar após o cultivo de leguminosas. **Bragantia**, Piracicaba, v. 70, n. 4, p. 1-9, 2011a.
- 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, 2011b.
- 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.
- AZCÓN, R. Importancia de los microorganismos rizosféricos en el crecimiento, nutrición vegetal y sostenibilidad agrícola. IN: AMBROSANO, E. J. **Agricultura Ecológica** v. 1. 1. ed. Guaíba: Agropecuária, 1999.
- 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).
- CÁCERES, N. T.; ALCARDE, J. C. Adubação verde com leguminosas em rotação com cana-de-açúcar (*Saccharum ssp*). **Sociedade Técnica dos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil**, Cidade, v. 13, n. 5, p. 16-20, 1995.
- CARVALHO, A. M. de et al. Decomposição de resíduos vegetais em latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2831-2838, 2008. Número especial.
- CARVALHO, A. M. de et al. Characterization by solid state CPMAS 13C NMR spectroscopy of decomposing plant residues in conventional and no-tillage systems in central Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 102, n. 1, p. 144-150, 2009.
- CARVALHO, A. M. de et al. Cover plants with potential use for crop livestock integrated systems in the Cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1200-1205, 2011.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPQ, 2006. 306p.
- ESPÍNDOLA, J. A. A. et al. Influência da adubação verde na colonização micorrízica e na produção da batata-doce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 3, p. 339-347, 1998.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: Um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 36-41, 2008.
- GIOVANETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal spores. **New Phytologist**, Oxford, v. 84, n. 3, p. 489-500, 1980.
- 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.
- MASCARENHAS, H. A. A. et al. **Efeito residual das leguminosas sobre o rendimento físico e econômico da cana-planta**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1994. 15 p. (Boletim Científico, 32).
- MYERS, R. J. K. et al. The synchronization of nutrient mineralization and plant nutrient demand. In: WOOMER, P. L.; SWIFT, M. J. (Org.). **The biological management of tropical soil fertility**. New York: Wiley-Sayce, 1994. p. 81-112.
- PIMENTEL-GOMES, F., 1990. **Estatística Experimental**, da Editora Nobel, São Paulo, 467p.
- PANJA, B.N.; CHAUDHURI S. Exploitation of soil arbuscular mycorrhizal potential for AM-dependent mandarin orange plants by pre-cropping with mycotrophic crops. **Applied Soil Ecology**, Oxford, v.26, n.2, p.249-255, 2004.
- PALM, C. A.; SANCHEZ, P. A. Nitrogen release

- from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 23, n. 1, p. 83-88, 1991.
- PHILIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedures for cleaning roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of the British Mycological Society**, London, v.55, n.1, p.158-162, 1970.
- QUAGGIO, J. A.; GODOY, I. J. Amendoim. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1996. p.192 (Boletim Técnico, 100).
- RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 345-354, 2000.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.
- 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.
- TANIMOTO, T. The press method of cane analysis. **Hawaiian Planter's Record**, Hawaii v. 57, n. 2, p. 133-150, 1964.
- TRIVELIN, P. C. O.; VICTORIA, R. L.; RODRIGUES, J. C. S. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia-15N e uréia-15N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 12, p. 1375-1385, dez. 1995.
- URQUIAGA, S. et al. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio na produtividade de sistemas agrícolas na América Latina. In: AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. de (Ed.). **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. p. 181-200.