

Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação com *Azospirillum brasilense* em milho no Cerrado¹

Cover crops, nitrogen doses, and inoculation with *Azospirillum brasilense*, in maize in the Cerrado

José Roberto Portugal^{2*}, Orivaldo Arf², Amanda Ribeiro Peres², Douglas de Castilho Gitti² e Nayara Fernanda Siviero Garcia²

RESUMO - Técnicas sustentáveis de manejo na cultura do milho são necessárias, visando aumento de produtividade, minimizando custos e impactos ambientais. Objetivou-se com este trabalho avaliar diferentes coberturas vegetais (milheto, crotalária, guandu, milheto + crotalária, milheto + guandu e pousio), doses de N (0; 40; 80 e 120 kg ha⁻¹) com e sem a inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* na cultura do milho, na região do Cerrado. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 6x4x2, constituindo 48 tratamentos, com 4 repetições. O estudo foi realizado no município de Selvíria-MS. As coberturas vegetais, exceto o guandu no primeiro ano e pousio no segundo, produziram quantidade adequada de resíduo (6 t ha⁻¹) para manter o sistema plantio direto na região de Cerrado, com destaque ao tratamento com milheto + crotalária. As produtividades de milho em sucessão à guandu e milheto + crotalária foram superiores. Em área de sistema plantio direto estabilizada, o fornecimento de nitrogênio via fertilizante, possibilita aumento de produtividade até a dose de 114 kg ha⁻¹ de N. A inoculação com *Azospirillum brasilense* via semente, propiciou menor população final de plantas, altura de plantas e a massa de mil grãos.

Palavras-chave: *Zea mays* L.. Adubação verde. Adubação nitrogenada. Inoculação.

ABSTRACT - With the aim of increasing productivity, and minimising costs and environmental impact, sustainable management techniques are necessary when growing maize. The aim of this study was to evaluate different cover crops (millet, crotalaria, pigeon pea, millet + crotalaria, millet + pigeon pea and fallow) and doses of N (0, 40, 80 and 120 kg ha⁻¹), both with and without seed inoculation with *Azospirillum brasilense* of the maize crop, in the Cerrado region of Brazil. The experimental design was of randomised blocks, in a 6 x 4 x 2 factorial scheme, comprising 48 treatments with 4 replications. The study was carried out in the town of Selvíria, in the State of Mato Grosso do Sul. Plant cover, except for the pigeon pea in the first year and the fallow in the second year, produced enough residue (6 t ha⁻¹) to maintain the no-tillage system in the Cerrado region, especially the treatment with millet + crotalaria. Maize production in succession to the pigeon pea and the millet + crotalaria was higher. In an area with a stabilised no-tillage system, the supply of nitrogen using fertiliser, gives an increase in productivity up to a dose of 114 kg N ha⁻¹. Inoculating the seeds with *Azospirillum brasilense* gave a smaller final plant population, less plant height and lower 100-grain weight.

Key words: *Zea mays* L.. Green fertiliser. Nitrogen fertiliser. Inoculation.

DOI: 10.5935/1806-6690.20170074

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 02/02/2015; aprovado em 09/01/2017

¹Parte da Dissertação de Mestrado financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)

²Departamento de Agricultura, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP, Ilha Solteira-SP, Brasil, jrp_agro@yahoo.com, arf@agr.feis.unesp.br, amandarperes_agro@yahoo.com.br, douglas@fundacaoms.org.br, nayaragarcia.agro@gmail.com

INTRODUÇÃO

Para manter a sustentabilidade do sistema produtivo, são necessárias técnicas que mantenham adequadas a fertilidade do solo e que minimizem impactos sob os recursos naturais. Nesse intuito, o uso de plantas de cobertura é um componente essencial da sustentabilidade dos sistemas de cultivo em solos altamente intemperizados, sob clima tropical sazonalmente seco, como os encontrados na região do Cerrado (CARVALHO *et al.*, 2009). Sua utilização proporciona incremento da fertilidade natural, geralmente baixa nos solos de Cerrado, resultando também na economia de fertilizantes, especialmente os nitrogenados (CARVALHO; AMABILE, 2006).

Para o milho, o nutriente mais exigido é o nitrogênio, pois é o que mais influencia a produtividade (SILVA; SILVA; LIBADI, 2013) e o que mais onera o custo de produção (MELO; CORÁ; CARDOSO, 2011). A eficiência de absorção do nitrogênio pelas plantas normalmente é igual ou menor que 60% (BROCH; RANNO, 2008). As transformações e perdas de nitrogênio que ocorrem no solo são por processos de mineralização e imobilização, nitrificação e desnitrificação, lixiviação e volatilização (BONO *et al.*, 2008). Para aumentar a eficiência da adubação nitrogenada é importante levar em conta esses fatores, somados ao conhecimento sobre o histórico da área, ou seja, dependendo da cultura antecessora ao milho, pode-se definir melhor as doses, fontes e o parcelamento do N aplicado.

Bactérias promotoras de crescimento de plantas podem auxiliar por diversos mecanismos na nutrição nitrogenada das culturas. As bactérias diazotróficas associativas mais estudadas, ou seja, que não formam uma simbiose com a planta hospedeira, são as bactérias pertencentes ao gênero *Azospirillum* (BASHAN; BASHAN, 2005). Dentre os mecanismos, destacam-se a produção de hormônios, que interferem no crescimento das plantas e podem alterar a morfologia das raízes, possibilitando a exploração de maior volume de solo (ZAIED *et al.*, 2003) e a fixação biológica do N₂ (INIGUEZ; DONG; TRIPLETT, 2004). Portanto, *A. brasilense* via semente, pode beneficiar a cultura do milho, suplementar a necessidade de N pela cultura, reduzindo o uso de fertilizante nitrogenado.

Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito de coberturas vegetais (milheto, crotalária, guandu, milheto + crotalária, milheto + guandu e pousio) de doses de nitrogênio em cobertura (0; 40; 80 e 120 kg ha⁻¹), no desenvolvimento e produtividade de milho, submetidas ou não à inoculação via semente com *Azospirillum brasilense*.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em dois anos agrícolas (2012/13 e 2013/14), na área experimental pertencente à Faculdade de Engenharia - UNESP, Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria-MS, situada aproximadamente a 51°22' de Longitude Oeste de Greenwich e 20°22' de Latitude Sul, com altitude de 335 metros.

O clima predominante da região, conforme classificação de Köppen, é do tipo Aw, definido como tropical úmido, estação chuvosa no verão e seca no inverno. A precipitação pluvial média anual é de 1.330 mm, temperatura do ar média anual de aproximadamente 25 °C e umidade relativa do ar média anual de 66%. O solo da área experimental é um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso e apresentava as seguintes características químicas na camada de 0,0 - 0,20 m, para o primeiro e segundo ano, respectivamente: P (resina): 34 e 32 mg dm⁻³; MO: 23 e 22 mg dm⁻³; pH (CaCl₂): 5,0 e 5,1; K: 2,9 e 1,4 mmol_c dm⁻³; Ca: 24 e 25 mmol_c dm⁻³; Mg: 17 e 17 mmol_c dm⁻³; H+Al: 36 e 42 mmol_c dm⁻³; Al: 1 e 1 mmol_c dm⁻³; V: 55 e 51%.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 6x4x2 com 48 tratamentos, constituídos pela utilização de seis coberturas vegetais [milheto (*Pennisetum americanum*), crotalária (*Crotalaria juncea*), guandu (*Cajanus cajan*), milheto + crotalária, milheto + guandu e pousio]; quatro doses de N em cobertura (0; 40; 80 e 120 kg ha⁻¹ de N), com e sem inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense*. As parcelas foram constituídas por 7 linhas de 6 m de comprimento, com espaçamento entrelinhas de 0,45 m.

Em relação ao pousio, para o primeiro ano, houve predominância de *Urochloa ruziziensis*, já no segundo ano, houve a presença de várias espécies de plantas: *Bidens pilosa*, *Acanthospermum hispidum*, *Commelina benghalensis*, *Phaseolus vulgaris*, *Euphorbia heterophylla*, *Sorghum bicolor*, *Eleusine indica* e *Urochloa ruziziensis*.

A semeadura das coberturas vegetais foi realizada no dia 05/09/2012 e no dia 09/09/2013. Utilizou-se semeadora tratorizada para marcar as linhas, com espaçamento de 0,45 m entre linhas. A semeadura das coberturas vegetais foi realizada manualmente, utilizando-se matracas, sem adubação. Utilizou-se em média 60 kg ha⁻¹ de sementes de guandu, 25 kg ha⁻¹ de crotalária e 15 kg ha⁻¹ de milheto. Nos tratamentos com consórcio das coberturas vegetais, foram utilizados 50% de sementes de cada espécie. O fornecimento de água, quando necessário foi realizado por um sistema fixo de irrigação por aspersão do tipo canhão, com turno de rega de três dias.

Por ocasião do florescimento do milheto e crotalária, aos 63 dias após a emergência (DAE) (12/11/2012) e aos 58 DAE (13/11/2013), foi realizado o manejo químico de todas as coberturas vegetais com a aplicação dos herbicidas 2,4 D e glifosato, nas doses de 1.209 e 1.440 g ha⁻¹ do i.a., respectivamente, para dessecação das plantas existentes na área experimental. Após 9 dias do manejo químico, a área foi manejada com desintegrador mecânico Triton®, para facilitar a implantação da cultura, demarcação das parcelas experimentais e permitir que grande parte do herbicida utilizado na dessecação seja degradado, isentando o milho de qualquer efeito tóxico.

A calagem da área, no primeiro ano, foi realizada com 1,64 t ha⁻¹ de calcário com PRNT de 73%. No segundo ano, foi realizada com 1,5 t ha⁻¹ de calcário com PRNT de 80,3%. A semeadura mecânica do milho foi realizada no dia 23/11/2012 e 25/11/2013, utilizando o híbrido simples DKB 390 VT PRO e o 2B710 PW, respectivamente.

As sementes foram tratadas, em ambos os anos, com imidacloprido e tiodicarbe, nas doses de 50 e 150 g do i.a. para 60.000 sementes, respectivamente, objetivando evitar o ataque inicial de eventuais insetos praga. Após o tratamento de sementes, foi realizada a inoculação, em ambiente sombreado, pouco antes da semeadura, com as estirpes Ab-V₅ e Ab-V₆ de *A. brasilense*. O inoculante utilizado apresenta 2x10⁸ células viáveis por grama do produto comercial, sendo aplicado a dose de 200 g de inoculante turfoso, no primeiro ano e, 200 mL do inoculante líquido, no segundo ano, para 25 kg de sementes. Foram distribuídas três sementes por metro de sulco, no espaçamento de 0,45 m entre as linhas, visando-se obter entre 60 e 65 mil plantas ha⁻¹.

A adubação química básica nos sulcos de semeadura foi calculada de acordo com as características químicas do solo e levando-se em consideração as recomendações de Cantarella e Furlani (1996), sendo utilizados, no primeiro ano 300 kg ha⁻¹ do formulado 08-28-16 e no segundo, 330 kg ha⁻¹ do 08-28-16 + 4,24% S.

A adubação nitrogenada em cobertura (doses de nitrogênio) foi realizada por ocasião da formação completa da 5ª folha, no dia 17/12/2012, aos 18 DAE no primeiro ano e, no segundo ano, foi realizada no dia 16/12/2013, aos 17 DAE. A fonte utilizada foi a ureia, distribuída em filetes do lado de cima das linhas de plantas, em seguida foi realizada a irrigação da área, para minimizar perdas por volatilização da amônia.

No intuito de manter a cultura livre da competição com plantas invasoras, em ambos os anos, aplicou-se em pós-emergência os herbicidas atrazina e tembotriona, nas doses de 1.000 e 100 g ha⁻¹ do i.a., respectivamente, em forma de mistura de tanque.

O florescimento pleno da cultura no primeiro ano ocorreu no dia 16/01/2013, aos 48 DAE e, no segundo ano ocorreu dia 17/01/2014, aos 49 DAE. A colheita das espigas, no primeiro ano, foi realizada no dia 11/04/2013, aos 133 DAE e, no dia 08/04/2014, aos 130 DAE, momento no qual os grãos apresentavam-se em média, com 18% de umidade.

Avaliações: massa seca e teor de N das coberturas vegetais; população final de plantas de milho; teor de N em plantas de milho; altura de plantas; diâmetro de espiga; massa de mil grãos e produtividade de grãos. Os valores de massa de mil grãos e produtividade foram corrigidos para 13% de umidade (b.u.).

Os resultados foram submetidos ao teste F da análise de variância. Constatado resultado significativo pelo teste F ($p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$), foi realizada a comparação de médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para as coberturas vegetais e inoculação de sementes, e regressão polinomial para as doses de nitrogênio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação tripla entre coberturas vegetais vs doses de N vs inoculação com *A. brasilense*, para as avaliações realizadas nesse trabalho.

Analisando os valores médios de massa seca das coberturas vegetais, para os dois anos agrícolas (Tabela 1), verifica-se que para o primeiro ano, os tratamentos com crotalária e milheto + crotalária apresentaram as maiores médias (6.671 e 7.627 kg ha⁻¹), diferindo significativamente apenas do tratamento com plantas de guandu (4.468 kg ha⁻¹). No segundo ano, o tratamento com milheto + crotalária (8.288 kg ha⁻¹) foi superior ao guandu (6.072 kg ha⁻¹) e pousio (5.205 kg ha⁻¹). Fora o tratamento com guandu, no primeiro ano e, o pousio, no segundo ano, todos os outros apresentaram valores de massa seca próximos ou superiores a 6 t ha⁻¹, o que segundo Heckler e Salton (2002) essa quantidade de massa seca sobre a superfície é adequada para o sistema plantio direto (SPD), com os quais se consegue uma boa cobertura do solo. Gitti *et al.* (2012), também verificaram valor de massa seca superior para o consórcio de milheto + crotalária em relação ao tratamento com guandu.

Quanto ao teor de nitrogênio (N) contido nas coberturas vegetais, para ambos os anos da pesquisa (Tabela 1), as plantas leguminosas solteiras apresentaram os maiores valores, diferindo do tratamento com plantas de milheto, para ambos os anos agrícolas e, do tratamento milheto + guandu, para o segundo ano. Leal *et al.* (2013) também observaram maior teor de N para a crotalária em relação ao milheto, nas mesmas condições do presente

Tabela 1 - Massa seca acumulada e teor de nitrogênio (N), em diferentes coberturas vegetais

Coberturas Vegetais	Massa seca		N	
	kg ha ⁻¹		g kg ⁻¹	
	2012/13	2013/14	2012/13	2013/14
Crotalária	6.671 a	7.699 ab	18,55 a	14,20 a
Guandu	4.468 b	6.072 bc	18,29 a	15,45 a
Milheto	5.863 ab	6.662 abc	14,67 b	10,91 b
Milheto + Crotalária	7.627 a	8.288 a	15,98 ab	13,26 ab
Milheto + Guandu	6.350 ab	6.712 abc	16,96 ab	11,20 b
Pousio	5.745 ab	5.205 c	16,98 ab	13,56 ab
Valor de F ⁽¹⁾	6,455**	5,523**	3,759*	8,38**
CV (%)	13,57	13,90	8,85	9,24

⁽¹⁾Teste F: ** e * - significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV - coeficiente de variação experimental

trabalho. Calvo, Foloni e Brancalião (2010) constataram teor de N superior em plantas de guandu comparado com milheto, quando cortadas aos 60 e 90 dias após a semeadura.

Para a população final de plantas (Tabela 2) nota-se que a prática da inoculação foi maléfica, para o primeiro ano agrícola, a qual propiciou decréscimo de 3,83% na população final. Essa queda pode ser atribuída à aderência do inoculante de natureza turfosa na semente, causando maior espessamento e, conseqüentemente, má distribuição pela semeadora pneumática de distribuição à vácuo, corroborando com os dados obtidos por Kaneko (2013).

Em relação às coberturas vegetais e as doses de N, para o primeiro ano, houve interação para população final de plantas. Pelo desdobramento (Tabela 3), analisando coberturas dentro de doses, na dose de 40 kg ha⁻¹, o guandu propiciou maior população de plantas, diferindo apenas do pousio, que apresentou queda de 14,28% na população de plantas em relação ao guandu. No tratamento pousio, houve predominância de plantas de *Urochloa ruziziensis*, que possui alta relação C/N e, portanto, parte da dose de N aplicada foi parcialmente consumida pelas bactérias decompositoras/mineralizadoras do solo, diminuindo a disponibilidade desse nutriente às plantas, fazendo com que essas não se desenvolvam e sequem. Em material com relação C/N maior que 20/1, característica da maioria das gramíneas, há maior imobilização de N para sua decomposição (ALVARENGA *et al.*, 2001).

Na dose de 80 kg ha⁻¹ de N, o pousio proporcionou novamente menor população final de plantas, no entanto não diferiu do milheto. Os dados demonstram que a dose de 80 kg ha⁻¹ de N, seguiu a mesma tendência que a dose de 40 kg ha⁻¹, fazendo valer a mesma hipótese.

Observando o desdobramento de doses dentro de coberturas (Tabela 3), nota-se que para o guandu, a população ajustou-se a um modelo quadrático, onde apresenta ponto de máxima população de plantas com a dose de 50 kg ha⁻¹ de N. Para o pousio, a população também se ajustou a um modelo quadrático, porém a parábola apresenta ponto de mínimo na dose de 62 kg ha⁻¹ de N.

Os resultados mostraram que há elevada demanda de N pela cultura do milho quando cultivado no SPD em sucessão a gramíneas. Isso se justifica pela quantidade insuficiente do nutriente que o solo fornece às plantas, resultado da intensa imobilização de N pelos microrganismos, principalmente nas primeiras semanas após a dessecação das plantas de cobertura (AMADO; MIELNICZUK; FERNANDES, 2000).

O teor de N da planta de milho, indicou que o tratamento com milheto + crotalária foi superior quando comparado com guandu e o pousio, para o primeiro ano agrícola (Tabela 2).

A cobertura vegetal milheto + crotalária, obteve 3.159 kg ha⁻¹ de acúmulo de massa seca em relação ao guandu e, 1.882 kg ha⁻¹ em relação ao pousio (Tabela 1). De acordo com a massa seca desses três tratamentos e o teor de N contido, percebe-se que o milheto + crotalária obteve incremento de N na faixa de 49 e 26%, sob o guandu e pousio, respectivamente, o qual refletiu no teor de N nas plantas do milho na sucessão. Teixeira *et al.* (2009) verificaram que o acúmulo de N na palhada de milheto + crotalária foi de 252 kg ha⁻¹, enquanto que no milheto solteiro, foi de 131 kg ha⁻¹ de N.

Ainda, o teor de N na planta, para ambos os anos agrícolas, ajustou-se a função linear positiva para as doses

Tabela 2 - Valores médios de população final de plantas (PFP), teor de nitrogênio na planta (N_p) e altura de plantas (AP) de milho

Tratamentos	PFP		N _p		AP		
	plantas ha ⁻¹		g kg ⁻¹		m		
	2012/13	2013/14	2012/13	2013/14	2012/13	2013/14	
Inoculação (I)							
Com	48.900 b	59.555	17,91	14,03	2,04 b	2,07	
Sem	50.772 a	59.536	17,64	13,84	2,08 a	2,07	
Coberturas (C)							
Crotalária	50.115	59.838	18,45 ab	14,58	2,09 a	2,11 a	
Guandu	51.909	58.931	17,10 b	13,87	2,08 ab	2,09 a	
Milheto	48.784	58.681	17,23 ab	13,44	2,03 b	2,07 ab	
Milheto + Crotalária	49.826	60.011	18,70 a	14,05	2,07 ab	2,07 ab	
Milheto + Guandu	50.636	59.336	18,23 ab	13,79	2,04 ab	2,02 b	
Pousio	47.743	60.475	16,94 b	13,90	2,05 ab	2,07 ab	
Doses de N (D)							
0 kg ha ⁻¹	50.849	59.079	16,85	12,41	2,06	2,05	
40 kg ha ⁻¹	49.691	60.288	17,42	13,93	2,06	2,07	
80 kg ha ⁻¹	49.498	59.581	18,66	14,43	2,06	2,09	
120 kg ha ⁻¹	49.305	59.234	18,17	14,98	2,07	2,08	
Valor de F ⁽¹⁾	I	10,14**	0,00	0,78	0,48	10,52**	0,07
	C	4,06**	0,82	4,00**	1,20	3,26**	5,22**
	D	1,39	0,76	6,55**	15,70**	0,31	3,22*
	I*C	1,99	0,94	0,89	0,22	0,23	1,96
	I*D	1,40	0,89	0,59	0,65	0,90	1,22
	C*D	2,67**	1,05	1,45	0,33	0,51	0,38
CV (%)	8,17	7,19	12,23	13,88	3,60	3,29	

⁽¹⁾Teste F: ** e * - significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV - coeficiente de variação experimental

Tabela 3 - Desdobramento da interação entre coberturas vegetais e doses de nitrogênio em cobertura para população final de plantas de milho

Coberturas Vegetais	Doses de N (kg ha ⁻¹)			
	0	40	80	120
População final (plantas ha ⁻¹)				
Crotalária	52.315 a	49.306 ab	50.463 a	48.380 a
Guandu ⁽¹⁾	51.620 a	53.704 a	54.167 a	48.148 a
Milheto	49.769 a	49.074 ab	48.380 ab	47.917 a
Milheto + Crotalária	49.306 a	47.917 ab	52.315 a	49.769 a
Milheto + Guandu	51.620 a	51.157 ab	49.074 a	50.694 a
Pousio ⁽²⁾	50.463 a	46.991 b	42.593 b	50.926 a

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ** - significativo a 1% de probabilidade. ⁽¹⁾ Y = 51377 + 127,025x - 1,266**x² R² = 0,95; ⁽²⁾ Y = 51145 + 228,877x - 1,845**x² R² = 0,79

de N aplicadas em cobertura (Figura 1A). Ou seja, para cada kg de N aplicado, ocorre acréscimo de 0,013 g kg⁻¹ e 0,020 g kg⁻¹ de N na massa seca de milho, para o primeiro e segundo ano agrícola. Kappes, Arf e Andrade (2013) também observaram efeito linear positivo para o teor de N da planta com o aumento das doses de N.

A altura de plantas foi influenciada negativamente pela inoculação com *A. brasilense* (Tabela 2). Essa resposta pode ser reflexo da menor população de plantas obtidas na presença da inoculação. Onde há menor número de plantas numa mesma área, ocorre menor crescimento, em contra partida, onde há maior número de plantas, ocorre o estiolamento, pelo maior crescimento. Isto ocorre devido à necessidade de luz para a planta realizar fotossíntese. Von Pinho *et al.* (2008) constataram relações lineares positivas para a altura de plantas com o aumento da densidade, sendo que, para um aumento de mil plantas na densidade, houve um acréscimo de 0,2 cm na altura de plantas.

Em relação às coberturas vegetais, ainda para o primeiro ano (Tabela 2), nota-se que o tratamento com crotalária apresentou maior altura de plantas de milho, diferindo do tratamento com milho. O milho, por apresentar maior relação C/N, pode ter liberado menor quantidade de N às plantas de milho e, conseqüentemente ter limitado o crescimento da planta. Torres *et al.* (2005), em 2000/01 verificaram uma relação C/N de 21,7 para milho, 11,5 para crotalária e 11,3 para guandu e concluíram que a crotalária e o guandu apresentaram maior velocidade de decomposição em relação ao milho.

No segundo ano, a altura de plantas apresentou valor inferior quando cultivada sob milho + guandu. Monteiro (2011), nas mesmas condições do presente experimento, verificou menor altura de plantas de arroz de terras altas, semeado em sucessão à milho + guandu, quando se realizou adubação de cobertura com salitre do Chile.

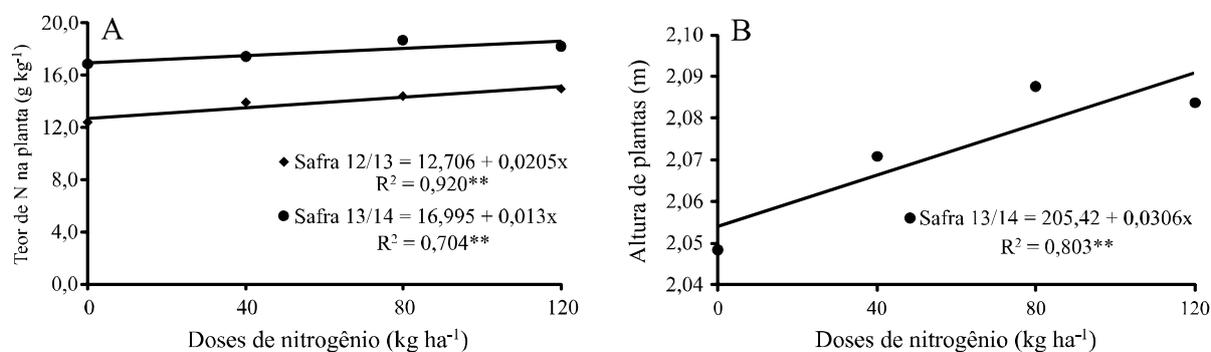
A altura de plantas observada no segundo ano, ajustou-se a equação linear positiva com o incremento das doses de N (Figura 1B). Observa-se que para cada kg ha⁻¹ de N, houve aumento de 0,0003 m na altura de plantas. Kappes *et al.* (2014) observaram aumento linear na altura de plantas, sendo que para cada kg ha⁻¹ de N aplicado, houve aumento de 0,0005 m.

Quanto ao diâmetro de espiga em relação ao primeiro ano (Tabela 4), verifica-se que o cultivo sob milho propiciou maior diâmetro de espiga e, o pousio, o menor diâmetro. Isso pode ter ocorrido devido a maior relação C/N da *U. ruziziensis* (40,8/1), plantas que predominavam no pousio, em comparação com o milho (30,0/1) (MENEZES; LEANDRO, 2004), que conseqüentemente demora mais tempo para decomposição e liberação de nutrientes para as plantas de milho, resultando em menor diâmetro de espiga. Para o segundo ano, o diâmetro de espiga destacou os tratamentos com crotalária e guandu, com as maiores médias, diferindo do milho + guandu e do pousio.

Houve interação entre inoculação e doses de N para diâmetro de espiga em 2013/14. O desdobramento indicou que na dose de 40 kg ha⁻¹ (Tabela 5), a inoculação proporcionou maior diâmetro. Provavelmente, essa foi a dose que não limitou a fixação biológica, tanto por excesso, quanto por falta de N no solo. Com e sem a inoculação, o diâmetro de espiga ajustou-se a equação linear positiva com o aumento das doses de N, indicando aumento de 0,010 e 0,008 mm para cada kg ha⁻¹ de N aplicado, respectivamente.

Os dados obtidos para massa de mil grãos (Tabela 4), para o primeiro ano agrícola, apresentou resposta negativa com a inoculação com a bactéria *A. brasilense*, apresentando decréscimo de 1,13% quando comparado ao tratamento sem inoculação. Este decréscimo proporcionado pela bactéria pode ser atribuído ao fato dela ser heterotrófica e requerer NH₄⁺ ou NO₃⁻. De forma

Figura 1 - Teor de nitrogênio na planta (A) e altura de plantas (B), em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho, Teste F: ** - significativo a 1% de probabilidade



semelhante, Kaneko (2013) obteve menor massa de cem grãos de milho “segunda safra” em Chapadão do Sul com a inoculação de *A. brasilense* nas sementes.

Observando as coberturas vegetais no primeiro ano, verifica-se que no tratamento com crotalária, o valor de massa de mil grãos foi significativamente superior

Tabela 4 - Valores médios de diâmetro de espiga (DE), massa de mil grãos (MMG) e produtividade (PROD) de grãos de milho

Tratamentos	DE mm		MMG g		PROD kg ha ⁻¹		
	2012/13	2013/14	2012/13	2013/14	2012/13	2013/14	
Inoculação (I)							
Com	52,05	51,15	333,29 b	283,48	8.277	9.122	
Sem	52,21	51,04	337,07 a	284,02	8.690	9.027	
Coberturas (C)							
Crotalária	52,24 ab	51,53 a	337,50 a	290,07 a	8.459	9.559 ab	
Guandu	52,09 ab	51,53 a	336,77 ab	288,33 a	8.818	9.994 a	
Milheto	52,87 a	50,88 abc	334,53 ab	277,06 c	8.323	8.074 c	
Milheto + Crotalária	51,77 ab	51,47 ab	336,37 ab	286,26 ab	8.601	9.813 a	
Milheto + Guandu	52,16 ab	50,50 c	336,39 ab	279,96 bc	8.480	8.315 c	
Pousio	51,64 b	50,66 bc	329,52 b	280,80 bc	8.220	8.691 bc	
Doses de N (D)							
0 kg ha ⁻¹	51,85	50,46	332,44	279,39	8.703	7.930	
40 kg ha ⁻¹	52,22	51,06	336,78	283,50	8.421	9.157	
80 kg ha ⁻¹	52,29	51,26	336,69	284,08	8.403	9.424	
120 kg ha ⁻¹	52,16	51,59	334,81	288,02	8.407	9.787	
Valor de F ⁽¹⁾	I	0,49	0,49	6,44**	0,18	7,68**	0,26
	C	2,51*	5,56**	2,59*	11,07**	1,34	12,74**
	D	0,76	8,51**	1,87	7,66**	0,97	18,52**
	I*C	0,88	1,16	1,30	1,81	3,55**	1,08
	I*D	0,58	2,82*	2,13	0,26	2,18	0,88
	C*D	1,01	1,01	1,05	1,11	1,82*	0,68
	CV (%)	2,97	2,22	3,08	3,11	12,15	14,29

⁽¹⁾Teste F: ** e * - significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV - coeficiente de variação experimental

Tabela 5 - Desdobramento da interação entre inoculação e doses de nitrogênio em cobertura para diâmetro de espiga em plantas de milho

Inoculação	Doses de N (kg ha ⁻¹)			
	0	40	80	120
Diâmetro de espiga (mm)				
Com ⁽¹⁾	50,25 a	51,48 a	51,17 a	51,70 a
Sem ⁽²⁾	50,67 a	50,65 b	51,35 a	51,48 a

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ** - significativo a 1% de probabilidade. ⁽¹⁾ Y = 50,54 + 0,010**x R² = 0,67; ⁽²⁾ Y = 50,56 + 0,008**x R² = 0,84

ao pousio, podendo estar associado à imobilização e liberação de N pela crotalária ser mais rápida em relação ao pousio, suprimindo a planta com mais N e consequentemente produzindo grãos com massa superior. Silva *et al.* (2006) relataram maior massa de mil grãos de milho em sucessão a crotalária em relação ao pousio (vegetação espontânea, constituída predominantemente de capim colônia, trapoeraba, picão preto e corda-de-violão) e ao milho.

Em relação ao segundo ano, a massa de mil grãos evidenciou os tratamentos crotalária e guandu com os maiores valores, as quais diferiram do milho, milho + guandu e pousio. Em partes, esse resultado pode ser explicado devido à estreita correlação da massa de mil grãos com o diâmetro de espiga. O maior diâmetro de espiga ocorre devido a melhor nutrição da planta, consequentemente, reflete em maior nutrição dos grãos da espiga. Kappes *et al.* (2014) observaram correlação positiva (0,42) entre massa de mil grãos e diâmetro de espiga.

O aumento da massa de mil grãos aumentou de forma linear positiva com o incremento das doses de N (Figura 2A). Pela equação, observa-se que o incremento de 1 kg ha⁻¹ de N proporciona aumento de aproximadamente 0,07 g na massa de mil grãos, corroborando com Kappes *et al.* (2014), que observaram incremento de 0,13 g para cada kg de N aplicado.

Para a produtividade de grãos de milho, para o primeiro ano (Tabela 4), observou-se interação significativa entre inoculação vs coberturas vegetais e entre coberturas vegetais vs doses de N aplicadas em cobertura. O desdobramento apresentado na Tabela 6 indica que a inoculação com *A. brasilense* propiciou resultados negativos para produtividade de grãos de milho, quando semeados sob palhada de crotalária e guandu, apresentando decréscimo de 17 e 13%, respectivamente. Na ausência de inoculação, o guandu foi superior em produtividade, diferindo significativamente do tratamento com milho e pousio. Diferentemente do que ocorreu, Kappes *et al.* (2013) em sistema plantio direto tendo a crotalária antecedendo o milho, obtiveram maior produtividade com a inoculação das sementes com *Azospirillum* em relação a ausência de inoculação. Da mesma forma que ocorreu no desdobramento sem inoculação, Gitti *et al.* (2012) ao avaliar o arroz de terras altas no sistema plantio direto em sucessão às coberturas vegetais, notaram maior produtividade do arroz em sucessão ao guandu em relação a braquiária.

Pelo desdobramento entre coberturas vegetais e doses de N observa-se que na dose de 80 kg ha⁻¹ (Tabela 7), o tratamento com milho + crotalária apresentou produtividade superior quando comparado ao milho + guandu e o pousio. Apenas o tratamento com guandu, a produtividade

Figura 2 - Massa de mil grãos (A) e produtividade de grãos (B), em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho, Teste F: * e ** - significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

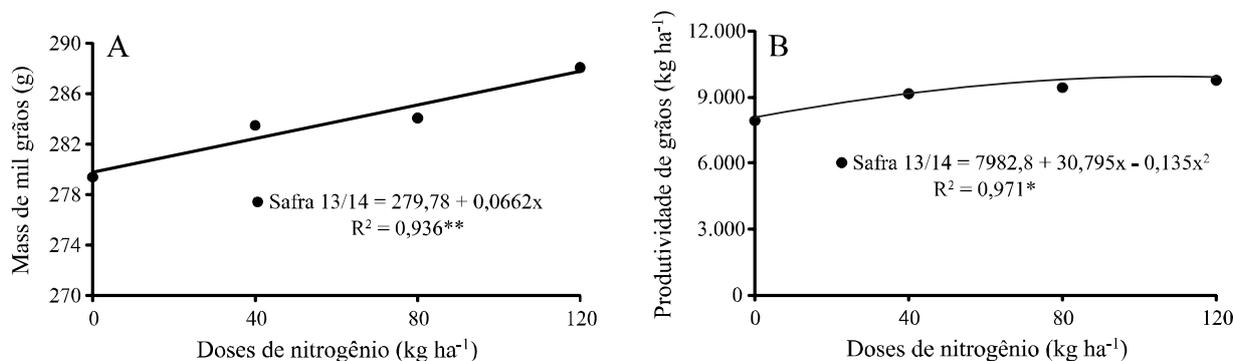


Tabela 6 - Desdobramento da interação entre inoculação e coberturas vegetais para produtividade de grãos de milho

Inoculação	Coberturas Vegetais					
	Crotalária	Guandu	Milho	Milh+Crot	Milh+Guan	Pousio
	Produtividade (kg ha ⁻¹)					
Com	7.795 b A	8.299 b A	8.487 a A	8.632 a A	8.164 a A	8.288 a A
Sem	9.124 a AB	9.338 a A	8.159 a B	8.569 a AB	8.796 a AB	8.153 a B

Médias seguidas por mesma letra, minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Tabela 7 - Desdobramento da interação entre coberturas vegetais e doses de nitrogênio em cobertura para produtividade de grãos de milho

Coberturas Vegetais	Doses de N (kg ha ⁻¹)			
	0	40	80	120
	Produtividade (kg ha ⁻¹)			
Crotalária	8.278 a	8.760 a	8.111 ab	8.690 a
Guandu ⁽¹⁾	9.459 a	8.811 a	8.965 ab	7.937 a
Milheto	8.427 a	8.527 a	8.179 ab	8.159 a
Milheto + Crotalária	8.401 a	8.181 a	9.438 a	8.382 a
Milheto + Guandu	8.879 a	8.186 a	7.843 b	9.013 a
Pousio	8.772 a	7.962 a	7.884 b	8.263 a

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ** – significativo a 1% de probabilidade. ⁽¹⁾ Y = 9495,29 - 11,28**x R²= 0,84

ajustou-se a função linear negativa, onde o aumento da dose de N aplicada em cobertura reflete em diminuição na produtividade. Por outro lado Gitti *et al.* (2012) trabalhando com arroz, nas mesmas condições do presente trabalho não verificaram interação de coberturas vegetais e doses de N, porém observaram efeitos isolados desses fatores, em que a produtividade respondeu de forma quadrática ao aumento das doses de N.

A produtividade de grãos de milho do segundo ano (Tabela 4) destacou os tratamentos com guandu (9.994 kg ha⁻¹) e milho + crotalária (9.813 kg ha⁻¹), os quais foram superiores aos tratamentos com milho (8.074 kg ha⁻¹), milho + guandu (8.315 kg ha⁻¹) e pousio (8.691 kg ha⁻¹). Os efeitos das culturas de cobertura com leguminosas, na produtividade do milho subsequente, são positivos devido à elevada quantidade de N proveniente da fixação simbiótica (KRAMBERGER *et al.*, 2009). O uso consorciado de crotalária (leguminosa) e o milho (gramínea) vem sendo utilizados como cobertura vegetal na região central do Brasil e tem se destacado devido à tolerância à seca e adaptação às condições edafoclimáticas dessa região (CAZETTA; FORNASIERI FILHO; GIROTTO, 2005).

A Figura 2B mostra a disposição dos dados de produtividade de grãos, sob a influência das doses de N. A produtividade ajustou-se a equação de segundo grau com as doses de N, a qual alcançou o cume de 9.739 kg ha⁻¹ com a dose de 114 kg ha⁻¹ de N. Em área de sistema plantio direto estabilizada, as respostas à adubação nitrogenada em cobertura são variadas, pois a adição de material orgânico ao solo promove também a adição de nutrientes, principalmente o N. Como o solo é o grande fornecedor de nutriente às plantas, a adição de nutriente exógeno (fertilizante), tem papel complementar. Lange *et al.* (2006), obtiveram resposta quadrática da produtividade de milho com o aumento das doses de N,

atribuindo valores máximos de 140 kg ha⁻¹ de N (plantio direto).

Nota-se que na média, a produtividade do segundo ano foi superior em relação ao primeiro ano. Como alertado anteriormente, no segundo ano, a população de plantas foi superior em 20% (quase 10.000 plantas) em relação ao primeiro ano, o que, com certeza, refletiu em maior produtividade. Von Pinho *et al.* (2008) descrevem que há relação linear entre a produtividade de grãos e a densidade de plantas, onde para cada aumento de 1.000 plantas ha⁻¹ na densidade, foi verificado o acréscimo de 30,4 kg na produtividade de grãos.

CONCLUSÕES

1. As coberturas vegetais, exceto o guandu no primeiro ano e pousio no segundo, produziram quantidade adequada de resíduo (6 t ha⁻¹) para manter o sistema plantio direto na região de Cerrado, com destaque ao tratamento com milho + crotalária em consórcio;
2. A produtividade de grãos de milho em sucessão à guandu e milho + crotalária foram superiores;
3. Nas condições do presente estudo, o fornecimento de nitrogênio via fertilizante, possibilita aumento de produtividade até a dose de 114 kg ha⁻¹;
4. A inoculação com *Azospirillum brasilense* via semente, propiciou menor população final de plantas, altura de plantas e a massa de mil grãos de milho.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP (Processo n° 2012/22501-9), pelo financiamento do projeto.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, R. C. *et al.* Plantas de cobertura de solo para sistema de plantio direto. **Informe Agropecuário**, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.
- AMADO, T. J.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 1, p. 179-189, 2000.
- BASHAN, Y.; BASHAN, L. E. Plant growth-promoting. In: HILLEL, D. **Encyclopedia of soil in the environment**. 2. ed. Oxford: Elsevier, 2005. p. 103-115.
- BONO, J. A. M. *et al.* Modo de aplicação de fertilizantes nitrogenados na qualidade fisiológica de sementes de milho. **Agrarian**, v. 1, n. 2, p. 91-102, 2008.
- BROCH, D. L.; RANNO, S. K. Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura do milho. In: BROCH, D. L. (Coord.) **Tecnologia e Produção: soja milho 2008/2009**. 5. ed. Maracaju: Fundação MS, 2008. p. 133-141.
- CALVO, C. L.; FOLONI, J. S. S.; BRANCALÃO, S. R. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milheto e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 77-86, 2010.
- CANTARELLA, H.; FURLANI, P. R. Arroz de sequeiro. In: RAIJ, B. van et al. (Coord.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto agrônomo: Fundação IAC, 1996. 285 p.
- CARVALHO, A. M. *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**, v. 102, p. 144-150, 2009.
- CARVALHO, A. M.; AMABILE, R. F. Plantas condicionadoras de solo: interações edafoclimáticas, uso e manejo. In: CARVALHO, A. M.; AMABILE, R. F. (Org.). **Cerrado: adubação verde**. Brasília: Embrapa, 2006. v. 1, p. 143-170.
- CAZETTA, D. A.; FORNASIERI FILHO, D.; GIROTTO, F. Composição, produção de matéria seca e cobertura do solo em cultivo exclusivo e consorciado de milheto e crotalária. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 27, n. 4, p. 575-580, 2005.
- GITTI, D. C. *et al.* Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* em arroz de terras altas no sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 71, n. 4, p. 509-517, 2012.
- HECKLER, J. C.; SALTON, J. C. **Palha: fundamento do sistema plantio direto**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2002. 26 p.
- INIGUEZ, A. L.; DONG, Y.; TRIPLETT, E. W. Nitrogen fixation in wheat provided by *Klebsiella pneumoniae* 342. **Molecular Plant Microbe Interactions**, v. 17, p. 1078-1085, 2004.
- KANEKO, F. H. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*, fontes e doses de nitrogênio na cultura do milho em duas épocas de semeadura**. 2013. 103 f. Tese (Doutorado em Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2013.
- KAPPES, C. *et al.* Inoculação de sementes com bactéria diazotrófica e aplicação de nitrogênio em cobertura e foliar em milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 527-538, 2013.
- KAPPES, C. *et al.* Manejo do nitrogênio em cobertura na cultura do milho em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 2, p. 201-217, 2014.
- KAPPES, C.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. C. Coberturas vegetais, manejo do solo, doses de nitrogênio e seus efeitos na nutrição mineral e nos atributos agrônômicos do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1322-1333, 2013.
- KRAMBERGER, B. *et al.* Effects of cover crops on soil mineral nitrogen and on the yield and nitrogen content of maize. **European Journal of Agronomy**, v. 31, p. 103-109, 2009.
- LANGE, A. *et al.* Doses de nitrogênio e de palha em sistema plantio direto de milho no Cerrado. **Revista Ceres**, v. 53, n. 305, p. 171-178, 2006.
- LEAL, A. J. F. *et al.* Adubação nitrogenada para milho com o uso de plantas de cobertura e modos de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 2, p. 491-501, 2013.
- MELO, F. B.; CORÁ, J. E.; CARDOSO, M. J. Fertilização nitrogenada, densidade de plantas e rendimento de milho cultivado no sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 27-31, 2011.
- MENEZES, L. A. S.; LEANDRO, W. M. Avaliação de espécies de coberturas do solo com potencial de uso em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 34, n. 3, p. 173-180, 2004.
- MONTEIRO, S. **Plantas de cobertura, fontes de nitrogênio e fornecimento de molibdênio no cultivo de arroz de terras altas em sistema de plantio direto**. 2011. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira. 2011.
- SILVA, E. C. *et al.* Manejo de nitrogênio no milho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura, em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 3, p. 477-486, 2006.
- SILVA, F. C.; SILVA, M. M.; LIBADI, P. L. Aplicação de nitrogênio no cultivo de milho, sob sistema plantio direto: efeitos na qualidade física do solo e características agrônômicas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 3513-3528, 2013.
- TEIXEIRA, C. M. *et al.* Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milheto e milho + crotalária no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 4, p. 647-653, 2009.

TORRES, J. L. R. *et al.* Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 609-618, 2005.

VON PINHO, R. G. *et al.* Adubação nitrogenada, densidade e espaçamento de híbridos de milho em sistema plantio direto na

região sudeste do Tocantins. **Bragantia**, v. 67, n. 3, p. 733-739, 2008.

ZAIED, K. A. *et al.* Yield and nitrogen assimilation of winter wheat inoculated with new recombinant inoculants of rhizobacteria. **Journal Biology Science**, v. 4, p. 344-358, 2003.