

AVALIAÇÃO AGRONÔMICA DO MILHO SOB DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO E INOCULAÇÃO DA SEMENTE NO CERRADO

THIAGO P. SIQUEIRA¹, REGINA MARIA Q. LANA², JOSÉ LUIZ R. TORRES³,
MARCOS V. DE FARIA⁴, ANA CAROLINA P. DE VASCONCELOS⁵.

¹ Graduando em Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais (ICIAG/UFU), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG, Fone: (0xx34) 3218-2225, ramal 231, thiagoprudente@agronomo.eng.br.

² Eng^a. Agrônoma, Prof^a. Doutora, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais (ICIAG/UFU), Uberlândia - MG.

³ Eng^o Agrônomo, Prof. Doutor, Departamento de Solos (IFTM/Uberaba), Uberaba - MG.

⁴ Eng^o Agrônomo, Pós-doutorando em Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais (ICIAG/UFU), Uberlândia - MG.

⁵ Eng^a. Agrônoma, Mestranda em Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais (ICIAG/UFU), Uberlândia - MG.

Apresentado no
XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015
13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro- SP, Brasil

RESUMO: A produtividade do milho em muitas regiões do país está abaixo do potencial genético dos híbridos de alta tecnologia disponíveis no mercado, devido principalmente ao manejo inadequado da fertilidade do solo e do adubo nitrogenado. Avaliou-se o desempenho agrônômico e rendimento da cultura do milho cultivado com doses crescentes de nitrogênio (N), na ausência e presença de *Azospirillum brasilense*, durante duas safras consecutivas. O delineamento foi em DBC em arranjo fatorial, com doses de N (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹), com e sem inoculação, com seis repetições. Foram realizadas análises foliares para teor de N, avaliação da clorofila, altura da planta, inserção da espiga, diâmetro de colmo, peso de mil grãos e produtividade. A aplicação de N promoveu maior desenvolvimento da cultura, incrementou os teores de clorofila e nutrientes, massa de mil grãos e produtividade, sendo este efeito maior na presença de *Azospirillum brasilense*. A produtividade de grãos respondeu até a dose de 200 kg ha⁻¹ de N na presença da bactéria. A produtividade e os teores de clorofila A, B e Total foram significativas com as crescentes doses de N. Na safra 2012/13 a inoculação da semente do milho não promoveu diferenças significativas nas variáveis analisadas.

PALAVRAS-CHAVE: *Azospirillum brasilense*, adubação nitrogenada, fixação biológica do nitrogênio

CORN AGRONOMIC EVALUATION UNDER DIFFERENT DOSES OF NITROGEN AND INOCULATION SEED IN CERRADO

ABSTRACT: The corn production in many regions of the country is below the genetic potential of high-tech hybrids available in the market, mainly due to inadequate management of soil fertility and nitrogen fertilizer. To evaluate the agronomic performance and yield of maize grown culture with increasing levels of nitrogen (N) in the absence and presence of *Azospirillum brasilense*, for two consecutive years. The experimental design was a randomized blocks in a factorial arrangement, with doses of N (0, 50, 100, 150 and 200 kg ha⁻¹), with and without inoculation, with six repetitions. Leaf analyzes were performed for N content, evaluation of chlorophyll, plant height, insertion of ear diameter, stem diameter, thousand kernel weight and productivity. Nitrogen application promoted further development of culture, increased the chlorophyll content and nutrients, thousand grain weight and productivity, which is greater effect in the presence of *Azospirillum brasilense*. The

grain yield responded to the dose of 200 kg ha⁻¹ of N in the presence of the bacteria. Productivity and chlorophyll levels A, B and Total were significant with increasing doses of N. In the 2012/13 crop corn seed inoculation not promoted significant differences in the variables analyzed.

KEYWORDS: *Azospirillum brasilense*, nitrogen fertilization, biological fixation of nitrogen

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um dos principais cereais produzidos no mundo e o Brasil ocupa a terceira posição neste cenário, com área plantada estimada em 14,2 milhões de hectares e produção total de 75,2 milhões de toneladas na safra 2013/2014 (CONAB, 2014).

A produtividade do milho em muitas regiões brasileiras está muito abaixo do potencial genético dos híbridos de alta tecnologia, que podem atingir valores variando entre 8,0 a 14,0 t ha⁻¹. Este baixo rendimento tem sido atribuído, dentre outros fatores, ao manejo inadequado da fertilidade do solo, por meio de correção de acidez, adubação de plantio e cobertura, sendo que o nitrogênio (N) é o nutriente que mais limita a produção, pois exerce funções essenciais para o metabolismo vegetal. Este nutriente é determinante no rendimento da cultura, estando associado principalmente ao crescimento e desenvolvimento dos drenos reprodutivos e participando da molécula de clorofila, a qual é indispensável para a manutenção da atividade fotossintética da planta (CRUZ et al., 2011). Cantarella (2007) destaca que para produzir 1,0 tonelada de grãos, considerando uma produtividade de 12 t ha⁻¹ são necessários 17 kg ha⁻¹ de N.

Com relação ao N, uma das alternativas utilizadas para diminuir o consumo de fertilizantes é a fixação biológica de nitrogênio (FBN) realizada pelas bactérias diazotróficas em associação com a planta, que já vem sendo utilizada com sucesso em milho (HUNGRIA et al., 2010; LANA et al., 2012; SABUNDJIAN et al., 2013). Neste contexto, *Azospirillum brasilense* é uma das bactérias que vem proporcionando resultados positivos, pois além de produzir hormônios para as plantas também é capaz de fixar N atmosférico, que quando inoculada na cultura milho torna-se uma técnica promissora para o desenvolvimento da planta e para o incremento de produtividade.

Atualmente existem pacotes tecnológicos utilizando variedades de plantas e estirpes bacterianas eficientes, que podem suprir mais de 50% do N necessário à planta (FERREIRA et al., 2013), contudo o estágio fenológico que a planta se encontra é um fator determinante para realização da cobertura com N, pois recomenda-se aplicar em dose total ou parcelada o restante da quantidade do nutriente, que deve ser feita entre os estádios de quatro (V4) e oito (V8) folhas completamente expandidas (FANCELLI, 2010).

A inoculação da semente de milho com as bactérias do gênero *Azospirillum* comprovadamente apresentam elevado potencial de redução da adubação nitrogenada, causam melhoria das características fisiológicas da planta e podem proporcionar aumento na produtividade da cultura (GOÊS et al., 2013), contudo, a influência desta associação sobre o acúmulo de macro e micronutrientes na planta nos estádios que antecedem a definição do rendimento da cultura precisam ser melhor avaliados, pois estes vêm sendo fornecidos em sua maior parte no plantio via adubação mineral.

Diante deste contexto, neste estudo avaliou-se o desempenho agrônômico e o rendimento da cultura do milho cultivado com doses crescentes de nitrogênio, na ausência e na presença de *Azospirillum brasilense*, no Cerrado mineiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na área da Fazenda Experimental Capim Branco, entre as coordenadas geográficas 18°55'23" S e 48°17'19" W, numa altitude de 872 m, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), no município de Uberlândia, MG, durante as safras 2011/2012 e

2012/2013.

O clima da região é classificado como Aw, tropical com estação seca no inverno, segundo a classificação de Köppen. Na região ocorrem médias anuais de precipitação na ordem de 1500 mm.

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho (Embrapa, 2006), textura argilosa, apresentando na camada arável (0 – 0,20 m), contendo 580 g kg⁻¹ de argila, pH H₂O = 5,5; 2,9 mg dm⁻³ P; 101,0 mg dm⁻³ K; 12,0 mg dm⁻³ S; 1,0 cmol_c dm⁻³ Ca; 0,5 cmol_c dm⁻³ Mg; 0,0 cmol_c dm⁻³ Al; 0,11 mg dm⁻³ B; 2,6 mg dm⁻³ Cu; 9,0 mg dm⁻³ Fe; 0,7 mg dm⁻³ Mn; 0,3 mg dm⁻³ Zn; 21 g kg⁻¹ de carbono orgânico; 4,86 cmol_c cm⁻³ CTC a pH 7,0 e 36% saturação por bases.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados em esquema fatorial 5 x 2, com cinco doses de N na cultura do milho (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹), duas formas de inoculação da bactéria: 1 - Inoculado com *Azospirillum brasilense* na dose de 100 mL ha⁻¹. 2 - Sem inoculação, com seis repetições.

A área foi preparada para o plantio com aplicação a lanço de 1,0 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, 40,2 % de CaO e 14% de MgO, PRNT 100%, incorporado com gradagem pesada, seguida da aplicação de 1,0 t ha⁻¹ de gesso agrícola incorporado com grade pesada. Em seguida utilizou-se grade niveladora e escarificador para abertura dos sulcos, com o plantio sendo feito manualmente no dia 14/12/2011 e 23/11/2012, utilizando-se 3,5 sementes por metro linear, para obtenção do estande de 70.000 sementes por hectare.

O híbrido de milho utilizado foi DKB 390 VTPRO e o inoculante foi o produto comercial Masterfix Gramínea[®] (cepas – AbV5 e AbV6), com concentração mínima de 2x10⁸ células mL⁻¹. Cada parcela consistiu de 10 linhas com 6 metros de comprimento, espaçadas 0,5 m e a parcela útil para a colheita foi constituída das 4 linhas centrais, desconsiderando 1 metro de cada extremidade.

Na semeadura no ano de 2011/2012 aplicou-se 18 kg ha⁻¹ de Mg e 24 kg ha⁻¹ de S na forma de sulfato de magnésio (9% de Mg e 12% de S); 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfostato triplo; 50 kg ha⁻¹ de K na forma de cloreto de potássio (KCl) e 50 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia (44% de N), exceto nos tratamentos com doses 0 de N. A adubação de cobertura, realizada no estádio de desenvolvimento V4, consistiu da aplicação de 100 kg ha⁻¹ de K, na forma de cloreto de potássio e a dose de N necessária para completar a dose de cada tratamento. No estádio V8, foi realizada adubação foliar com 40 g ha⁻¹ de molibdênio; 4,0 g ha⁻¹ de cobalto; 300 g ha⁻¹ de manganês e 147 g ha⁻¹ de enxofre, além de 400 g ha⁻¹ de boro e 2 kg ha⁻¹ de zinco via solo.

Na semeadura no ano de 2011/2012 aplicou-se 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfostato triplo, 50 kg ha⁻¹ de K na forma de cloreto de potássio e 50 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, exceto nos tratamentos com doses 0 de N. A adubação de cobertura, realizada no estádio de desenvolvimento V4, consistiu da aplicação de 100 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de cloreto de potássio e a dose de N necessária para completar a dose de cada tratamento, bem como foi realizada adubação de 300 g ha⁻¹ de boro com octaborato de sódio tetra hidratado (20% de B) via solo e 2 kg ha⁻¹ de zinco com óxido de zinco (76 % Zn) via foliar.

No estádio V7 foi realizado o controle de plantas daninhas, utilizando-se pulverizador costal com volume de calda de 350 L ha⁻¹. Os herbicidas utilizados foram: atrazina (400 g L⁻¹), na dose de 4,0 L ha⁻¹ e tembotriona (420 g L⁻¹) na dose de 0,24 L ha⁻¹, com adjuvante Aureo (Ester metílico de óleo de soja - 720 g L⁻¹) na dose de 0,35 L ha⁻¹.

A colheita foi realizada mês de maio de 2012 e 23 de abril de 2013, com a umidade dos grãos corrigida para 13% para o cálculo de produtividade.

Nos dois anos (2011/12 e 2012/13) foram avaliados: Teor de clorofila foliar no estádio V8, utilizando clorofilômetro portátil ClorofiLOG[®] modelo CFL1030, que expressa o teor de clorofila através do índice de clorofila Falker (ICF), em unidades adimensionais; análise do nitrogênio foliar no estádio V8, estádio R1 e no estágio R3, conforme metodologia proposta pela Embrapa (2009); avaliação do peso de mil grãos; altura da planta; inserção da espiga; diâmetro de colmo e produtividade de grãos, ajustando-se a umidade para 13%.

Os resultados foram submetidos à análise estatística aplicando-se o teste de Tukey a 0,05 de significância, para variável inoculação e a análise de regressão para a variável dose por meio do software Sisvar versão 4.0 e o Sigmaplot versão 2010.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando o efeito das doses crescentes de nitrogênio sobre os parâmetros avaliados nos anos 2011/12 e 2012/13, observou-se que os valores foram significativamente maiores na presença da bactéria *Azospirillum brasilense* (Tabela 1), evidenciando que a maior absorção de nitrogênio pela planta aumentou o teor de clorofila na folha, que implica em uma maior taxa de fotossíntese, consequentemente em maior acúmulo do carbono na planta. Este acúmulo de biomassa, associado ao aumento de absorção de água e nutrientes, aumenta a translocação e o acúmulo de nutrientes para os grãos, que comprova a possibilidade de uso destas bactérias como promotoras de crescimento de plantas.

Resultados semelhantes foram observados em outros estudos com a inoculação da semente pela bactéria *Azospirillum brasilense*, que apresentaram maior índice de clorofila foliar e crescimento na cultura do trigo (BASHAN et al., 2006), cana-de-açúcar (PEREIRA et al., 2013) e do milho (KAPPES, et al., 2015). Contudo, para a cultura do milho os resultados ainda são divergentes, pois Morais (2012) fizeram a inoculação da semente com a mesma bactéria e não houve alteração no teor de clorofila da folha.

TABELA 1. Teor de clorofila A, B e Total em função das doses de N, na ausência e presença da bactéria *Azospirillum brasilense*, no milho, estágio V8, nas safras de 2011/12 e 2012/13, Uberlândia-MG.

Bactéria	Doses de Nitrogênio									
	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
	0		50		100		150		200	
kg ha ⁻¹									
	Clorofila A									
Ausência	33,6	35,3	34,3	38,2	35,9	38,7	36,0	38,0	36,2	38,9
Presença	35,2	35,7	34,8	40,0	36,4	39,2	36,0	39,1	36,8	39,2
CV %	4,55	4,57								
	Clorofila B									
Ausência	14,5	14,4	15,8	19,3	17,8	20,7	18,3	20,4	19,3	21,4
Presença	16,1	14,9	16,5	22,7	19,0	21,5	18,7	20,8	20,3	21,5
CV %	13,61	12,85								
F	0,11	1,07								
	Clorofila Total									
Ausência	48,2	49,8	50,1	57,6	53,7	59,5	54,3	58,4	55,6	60,4
Presença	51,3	50,7	51,2	62,8	55,4	60,7	54,8	59,9	57,1	60,7
CV %	7,45	7,12								

* = Significativo (p<0,05). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05)

Doses crescentes de nitrogênio, na presença e ausência de *Azospirillum* promoveram resposta linear do teor de clorofila A, B e Total na safra 2011/2012. Enquanto na safra seguinte observa-se o aumento dos teores de clorofilas A, B e Total conforme as doses crescentes de N, até as doses de 122; 153 e 142 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, proporcionando incremento quadrático nos teores de clorofila foliar (Figura 1). Acima destas doses, observa-se redução dos teores de clorofila, devido à planta não responder mais ao aumento do fornecimento de N.

Segundo Rambo et al. (2004) o teor relativo de clorofila na folha vem sendo considerado o melhor indicativo do nível de N e, de acordo com Malavolta et al. (1997), isso é devido a sua praticidade e economia da determinação por clorofilômetros. Ainda, a determinação do teor relativo de clorofila tem sido usada para predizer a necessidade de adubação nitrogenada, em cobertura, em várias culturas, dentre elas o arroz (SINGH et al., 2002) e o milho (ARGENTA et al., 2004).

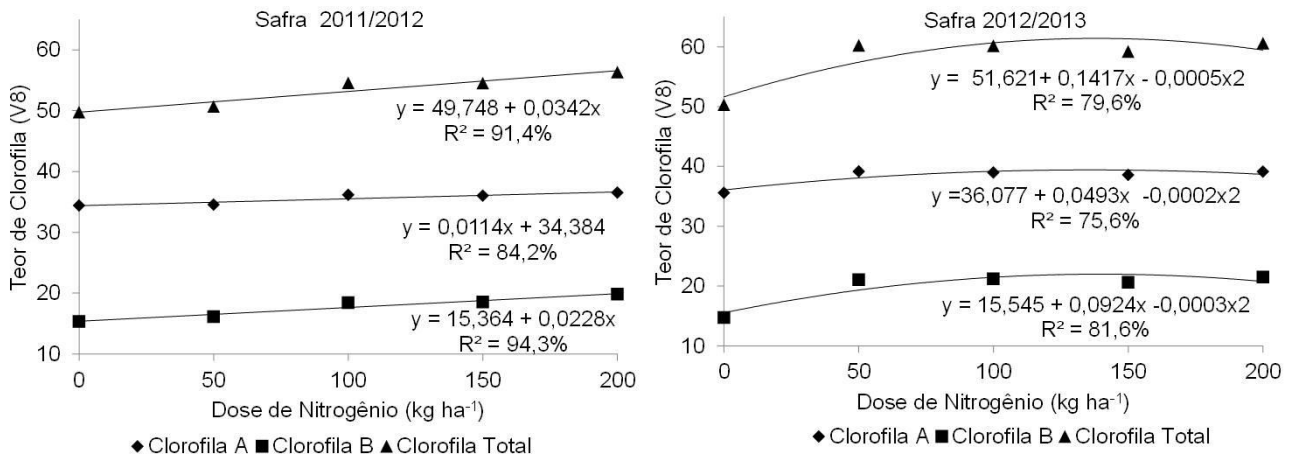


FIGURA 1. Teor de clorofila foliar em função de doses crescentes de N, no estágio V8 da cultura do milho, Uberlândia - MG, safras 2011/2012 e 2012/2013.

Com relação à absorção de nitrogênio pela cultura o milho, a máxima absorção ocorre em dois períodos distintos, nas fases de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo ou formação da espiga, enquanto que as menores taxas de absorção ocorrem no período compreendido entre a emissão do pendão e o início da formação da espiga (OLNESS e BENOIT, 1992).

Para o teor de N foliar no estágio V8 no ano de 2011/12 não houve incremento significativo dos valores quando foi aplicada as doses de 50 e 100 kg de N ha⁻¹. No ano de 2012/13 o teor de nitrogênio foliar não foi influenciado pela inoculação da semente, no entanto houve diferença significativa em relação às doses de N aplicadas (Tabela 2). De forma geral, todos os valores observados para este parâmetro ficaram dentro da faixa de suficiência (28 a 35 g kg⁻¹ de N), considerada adequada para a cultura do milho (MALAVOLTA et al., 1997).

TABELA 2. Teor de nitrogênio foliar no estádios V8, R1 e R3 da cultura do milho, em função de diferentes doses de N, na ausência e presença de *Azospirillum brasilense*, nas safras 2011/12 e 2012/13, Uberlândia-MG.

Bactéria	Nitrogênio foliar											
	2011		2012		2011		2012		2011		2012	
	0		50		100		150		200			
 g kg ⁻¹											
	V8											
Ausência	31,2	34,4	31,8	35,1	33,5	38,8	34,8	38,3	35,2	39,6		
Presença	31,7	35,4	32,4	39,1	34,4	40,1	34,2	39,2	33,8	40,5		
CV %	6,20	10,61										
	R1											
Ausência	27,20	19,6	27,27	23,7	29,83	30,0	29,02	30,9	30,17	27,1		
Presença	27,15	24,3	28,83	27,5	29,40	30,1	29,77	32,7	30,98	33,4		
CV %	5,43	17,24										
	R3											
Ausência	26,10	16,76	28,13	21,18	29,37	25,66	30,98	25,85	30,00	25,48		
Presença	26,05	19,21	28,53	21,23	29,88	26,08	29,95	26,48	30,53	27,60		
CV %	4,40	17,63										

* = Significativo (p<0,05). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05)

Resultados semelhantes foram encontrados por Goês et al. (2013) e Kappes et al. (2013) em milho e com Pereira et al. (2013) em cana-de-açúcar, contudo este estudo também aponta para a especificidade entre bactérias e genótipos, uma vez que esta resposta não foi encontrada nas outras

variedades avaliadas, fato este também destacado por Dotto et al. (2010), que não encontraram diferença significativa no teor de N foliar em função das doses de N ou da inoculação, contudo o teor de N foliar no híbrido AS 1540 foi maior em relação ao híbrido 1570, demonstrando a maior eficiência na absorção do nitrogênio do primeiro. Estes resultados aponta a necessidade de novas pesquisas envolvendo a relação bactéria-genótipo, uma vez que os diferentes materiais têm características genéticas particulares e, por tanto, a interação com as bactérias pode se dar de maneira diferente.

No estágio de desenvolvimento R1 e R3 não ocorreram interações significativa entres as diferentes doses de N e a presença ou ausência do inoculante *Azospirillum brasilense*. Através da análise da regressão apresentados na figura 2 da safra 2011/12, observa-se um aumento linear com as doses aplicadas, pois quanto maior a dose de nitrogênio aplicado, maior foi o teor de nitrogênio foliar, para os estádios V8 e R1. No estágio V8 da cultura, aumenta a absorção deste elemento devido o sistema radicular ter um desenvolvimento acentuado (FANCELLI, 2010). A cada 1,0 kg ha⁻¹ de N aplicado, há um incremento de 0,0171 de g kg⁻¹ de nitrogênio foliar para o estágio V8 da cultura, com boa capacidade preditiva do modelo de 88,57%.

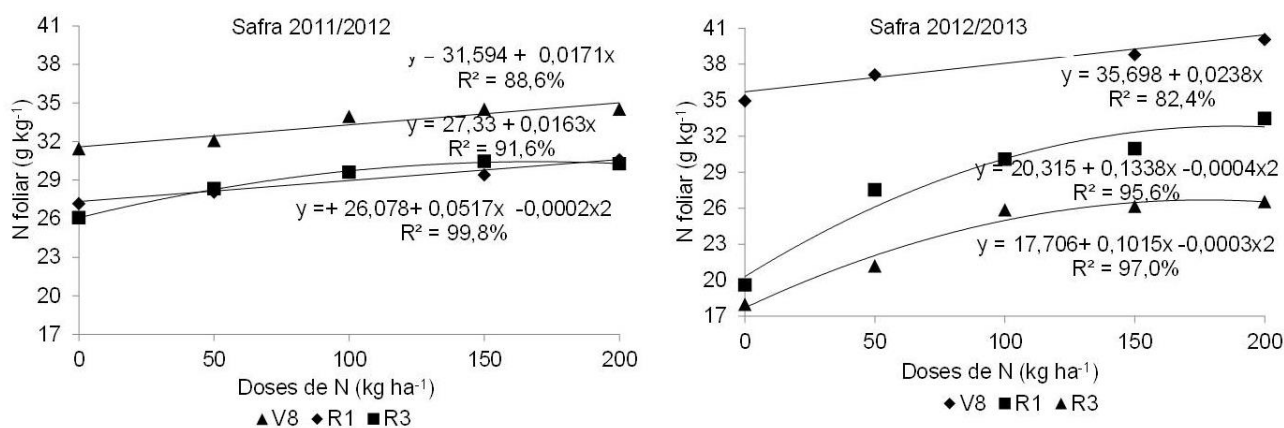


FIGURA 2. Teor de nitrogênio foliar em função de doses crescentes de N, nos estádios V8, R1 e R3 da cultura do milho, nas safras 2011/2012 e 2012/2013, Uberlândia-MG.

No estágio R1, com a dose máxima de 200 kg de N apresenta 30,98 g kg⁻¹ de N foliar, o que a cada 1 kg de N aplicado, o incremento no teor de N foliar no estágio R1 é de 0,0163, com capacidade preditiva do modelo de 91,62%. Para o estágio R3 houve incremento no teor de N foliar com o aumento nas doses até 129 kg ha⁻¹ de N, em que o teor foliar foi de 29,41 g kg⁻¹. Goês et al. (2013) encontraram resposta quadrática do teor de nitrogênio foliar em função da aplicação de doses crescentes de ureia na cultura do milho.

Através da análise da regressão apresentados na Figura 2 da safra 2012/13, observa-se que de acordo com a equação obtida, no estágio V8, com a maior dose de N aplicada neste experimento (200 kg ha⁻¹), já seria possível alcançar o máximo teor de N nas folhas (40,41 g kg⁻¹). Para Cruz et al. (2011) ocorre um importante impacto do metabolismo do N no crescimento e rendimento do milho, pois este nutriente tem a função de estabelecer e manter a capacidade fotossintética, com isso, para se alcançar altos rendimentos tem-se que manter esta atividade durante a formação da semente e enchimento de grãos.

Analisando os valores médios dos parâmetros agrônômicos avaliados no ano de 2011/2012, observou-se que houve incremento na altura da planta e no diâmetro de caule em função das doses de nitrogênio na presença de da bactéria, enquanto que o mesmo não ocorreu para o ano de 2012/2013. Para a altura de inserção da espiga não houve influencia das doses de N ou inoculação da semente nos dois anos avaliados (2011/12 e 2012/13) (Tabela 3). Estes resultados evidenciam que as doses de N e a inoculação da semente com *Azospirillum* alteram a resposta fisiológica e produtiva da cultura do milho, confirmando a importância do N no metabolismo da planta, pois é essencial à biossíntese dos aminoácidos, proteínas, clorofilas, hormônios (RAMBO et al., 2004).

TABELA 3. Altura de planta, inserção da espiga, diâmetro do caule, função das doses de nitrogênio, com e sem inoculação da semente com *Azospirillum brasilense*, nas safras 2011/12 e 2012/13, Uberlândia-MG.

Bactéria	Doses de nitrogênio									
	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
	0		50		100		150		200	
	Altura de planta (m)									
Ausência	2,08	2,05	2,10	2,12	2,16	2,17	2,12	2,13	2,09	2,18
Presença	2,07	2,06	2,09	2,13	2,16	2,19	2,14	2,16	2,17	2,22
CV %	3,45	2,95								
	Altura de inserção da espiga (m)									
Ausência	1,20	1,09	1,22	1,12	1,23	1,15	1,22	1,14	1,18	1,16
Presença	1,19	1,09	1,20	1,14	1,24	1,18	1,21	1,15	1,25	1,21
CV %	4,50	5,07								
	Diâmetro do caule (mm)									
Ausência	21,20	20,18	21,4	21,6	21,8	22,8	23,2	22,4	22,8	22,9
Presença	21,10	20,78	21,5	21,9	21,6	23,9	22,5	22,8	22,3	24,0
CV %	17,64	11,75								

* = Significativo ($p < 0,05$). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Para o parâmetro altura da planta Lana et al. (2012) não encontraram diferenças significativas em função da inoculação com *Azospirillum* spp ou da adubação nitrogenada. Com relação à altura de inserção da espiga, resultados semelhantes foram observados por Goês et al. (2013), que encontrou resposta quadrática para esta altura de inserção em função das doses de N, tanto na forma de ureia quanto de sulfato de amônio aplicadas ao milho em cobertura de inverno.

Dartora et al. (2013) avaliando adubação nitrogenada e inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae* na cultura do milho, obtiveram incremento de 15% no diâmetro de caule nos tratamentos com inoculação em relação ao tratamento testemunha, enquanto que Dotto et al. (2010) observaram resultados divergentes, pois não encontraram efeito significativo de dose ou inoculação sobre o diâmetro de colmo.

Os resultados avaliados para os parâmetros massa de mil grãos e produtividade nos anos 2011/12 e 2012/13 são apresentados na Tabela 4.

TABELA 4. Massa de mil grãos e produtividade em função das doses de nitrogênio, com e sem inoculação da semente com *Azospirillum brasilense*, nos anos 2011/12 e 2012/13, em Uberlândia 2012.

Bactéria	Doses de nitrogênio									
	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
	0		50		100		150		200	
	Massa de mil grãos (g)									
Ausência	357,1	263,4	364,3	290,3	376,1	303,4	378,0	315,2	374,8	308,1
Presença	345,9	275,7	365,3	290,6	379,9	312,1	380,4	318,5	389,2	308,2
CV %	3,55	6,25								
	Produtividade ($t\ ha^{-1}$)									
Ausência	10,65	6,88	10,52	8,53	11,66	10,18	11,82	10,03	10,99	10,52
Presença	10,32	7,18	10,97	9,22	11,76	10,21	11,49	10,36	11,95	11,15
CV %	6,95	10,85								

* = Significativo ($p < 0,05$). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Com relação à massa de mil grãos (Tabela 4) na safra de 2011/2012 observou-se que na presença do *Azospirillum* e ausência de N ocorreu menor tamanho dos grãos, uma vez que a massa de mil grãos foi menor. No entanto, com o aumento nas doses de N, o incremento na presença da bactéria, foi de 200 mg kg⁻¹ de adubo aplicado à cultura do milho, enquanto na ausência da bactéria, este incremento foi de 100 mg kg⁻¹, ou seja, o dobro quando a adubação de N foi associada à inoculação (Figura 3). Em 2012/2013 não houve diferença significativa para este parâmetro, em função da ausência e presença de *Azospirillum brasilense*, que de acordo com Borrás e Otegui (2001), esse é o componente da produção menos afetado por variações nas práticas de manejo e adubação.

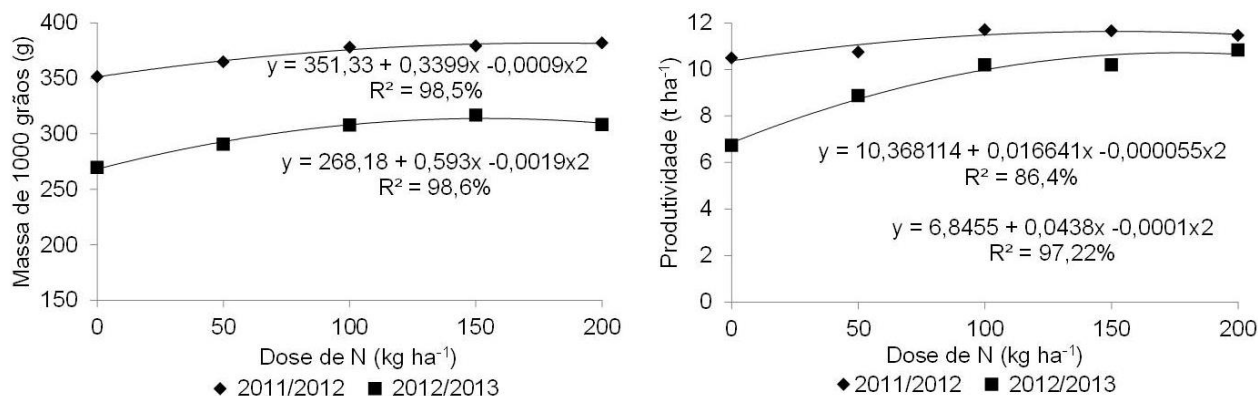


FIGURA 3. Massa de 1000 grãos (g) e produtividade (t ha⁻¹) em função de doses crescentes de N, na cultura do milho, nas safras 2011/2012 e 2012/2013, em Uberlândia-MG.

Souza e Soratto (2006) estudando o manejo do nitrogênio em cobertura na cultura do milho cultivado em sistema plantio direto não observaram efeito significativo sobre a massa de grãos da cultura, em conformação com o que foi observado no presente estudo. Kappes et al. (2013) também obteve resultados semelhantes, testando modos de aplicação e doses de *Azospirillum* na cultura do milho, não encontrando também diferença significativa na massa de mil grãos.

Os híbridos de milho utilizados neste estudo apresentam alto potencial produtivo e respondem a altas doses de nitrogênio. No ano de 2011/12, na presença do *Azospirillum* houve incremento de produtividade até a maior dose testada (200 kg ha⁻¹), na qual a produtividade estimada foi de 12,0 t ha⁻¹. Isso pode estar associado ao *Azospirillum* que aumenta a quantidade de raízes finas, potencializando a absorção e o acúmulo de nutrientes pelas plantas (BASHAN e DE-BASHAN, 2010). Na ausência da bactéria, no aumento na dose de N de 0 para 200 kg ha⁻¹ promoveu incremento de 3% (314 kg) na produção de grãos, enquanto na presença este aumento foi de 16% (1630 kg) (Figura 3).

Na safra 2012/2013 houve interação significativa entre as doses de N aplicadas, pois a produtividade do milho é fortemente influenciada pela disponibilidade de N no solo, conforme comprovado por outros estudos (SANTOS et al., 2010), porém não houve efeito significativo entre a produtividade da semente com (9,31 t ha⁻¹) e sem (9,43 t ha⁻¹) inoculação, o que confere com os resultados obtidos por Dotto et al. (2010). Apesar disto, foi obtido em torno de 160 sacas por hectare. Em 2012/2013 foi encontrada resposta quadrática da produtividade de grãos em função das doses de N, com máxima produtividade (13,1 t ha⁻¹) alcançada na aplicação de 200 kg ha⁻¹ de N. A produtividade do milho foi 60,9 % maior com as crescentes doses de N (Figura 3), em relação à testemunha.

Bartchechen et al. (2010) verificaram, em estudo com inoculante comercial à base de *Azospirillum brasilense* associado a diferentes doses de N, que a inoculação proporcionou resultados superiores de produtividade do milho em relação à testemunha, porém não houve diferenças na produtividade com a inoculação isolada ou associada à adubação nitrogenada em cobertura. Moraes (2012) em ensaio com alta tecnologia em milho encontrou resposta quadrática da produtividade de grãos em função das doses de N, sendo a máxima produtividade (10 a 14 t ha⁻¹)

alcançada na aplicação de 260 kg ha⁻¹ de N.

CONCLUSÕES

A adição de fertilizantes nitrogenados promove maior desenvolvimento das plantas de milho, incrementa os teores de clorofila, teor de nitrogênio foliar, massa de mil grãos e produtividade, sendo este efeito maior na presença de *Azospirillum brasilense*.

A inoculação das sementes de milho com *Azospirillum brasilense* melhora a eficiência de absorção do N.

A produtividade de grãos de milho responde até a dose de 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio na presença do *Azospirillum brasilense*.

A inoculação com *Azospirillum brasilense* não substitui o uso de fertilizantes nitrogenados, mas melhora a resposta da planta à adubação, especialmente em doses elevadas.

A produtividade do milho e os teores de clorofila A, B e Total foram significativas com as crescentes doses de nitrogênio.

No ano 2012/13 a inoculação da semente do milho com *Azospirillum brasilense* não promoveu diferenças significativas na produtividade, altura de plantas, diâmetro do colmo, massa de mil grãos e nos teores de clorofila A, B e Total.

REFERÊNCIAS

- BARTCHECHEN, A.; FIORI, C. C. L.; WATANABE, S. H.; GUARIDO, R. C. (2010). Efeito da inoculação de *Azospirillum brasilense* na produtividade da cultura do milho (*Zea mays* L.). **Ca. Dig.**, 5: 56-59.
- BASHAN, Y.; BUSTILLOS, J.J.; LEYVA, L.A.; HERNANDEZ, J.P.; BACILIO, M. (2006). Increase in auxiliary photoprotective photosynthetic pigments in wheat seedlings induced by *Azospirillum brasilense*. **Biol. and Fert. of Soils**, 42: 279-285.
- BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L.E. (2010). How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth – a critical assessment. **Adv. in Agr.**, 108: 77-136.
- BORRÁS, L.; OTEGUI, M.E. (2001). Maize kernel weight response to post-flowering source- sink ratio. **Crop Sci.**, 41 (6): 1816-1822.
- CANTARELLA, H. NITROGÊNIO. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (2007). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 7: 375-470.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**, v.1 safra 2013/2014, n.5, Quinto levantamento, Brasília, 2014, 69p.
- CRUZ, J.C.; VERSIANI, R.P. FERREIRA, M.T.R. **Cultivo de milho**. Embrapa Milho e Sorgo, Sistema de produção, Sete Lagoas, versão eletrônica 7ed. 2011. Disponível em <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/Milho>. Acesso em 02/02/2015.
- DARTORA, J.; GUIMARÃES, V.F.; MARINI, D. SANDER, G. (2013). Adubação nitrogenada associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae* na cultura do milho. **Rev. Br. Eng. Agr. e Amb.**, 17(10): 1023-1029.
- DOTTO, A.P.; LANA, M.C.; STEINER, F.; FRANDOLOSO, J.F. (2010). Produtividade do milho em resposta à inoculação com *Herbaspirillum seropedicae* sob diferentes níveis de nitrogênio. **Rev. Br. Ci. Agr.**, 5(3): 376-382.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de análises química do solo, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Rev. e ampl., Brasília, DF: Embrapa informações tecnológicas, 2009, 627p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 2006, 412 p.

- FERREIRA, A.S.; PIRES, R.R.; RABELO, P.G.; OLIVEIRA, R.C.; LUZ, J.M.Q.; BRITO, C.H. (2013). Implications of *Azospirillum brasilense* inoculation and nutriente addition on maize in soils of the Brazilian Cerrado under greenhouse and field conditions. **Appl. Soil Ecol.**, 72: 103-108.
- FANCELLI, A.L. (2010). **Boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes na cultura do milho**. Piracicaba: IPNI - International Plant Nutrition Institute Brazil, 16p. (IPNI. Informações Agronômicas, 131).
- GOÊS, R.J.; RODRIGUES, R.A.F.; TAKASU, A.T.; ARF, O. (2013). Características agronômicas e produtividade do milho sob fontes e doses de nitrogênio em cobertura no inverno. **Rev. Br. Mi. e Sor.**, 12(3): 250-259.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; SOUZA, E.M.; PEDROSA, F.O. (2010). Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, 331: 413-425.
- KAPPES C.; ARF, O.; ARF, M.V.; FERREIRA, J.P.; DAL BEM, J.A.; PORTUGAL, J.R.; VILELA, R.G. (2013). Inoculação de sementes com bactéria diazotrófica e aplicação de nitrogênio em cobertura e foliar em milho. *SeM: Ci. Agr.*, 34(2): 527-538.
- KAPPES, C.; GITTI, D.C.; ARF, O.; ANDRADE, J.A.C.; TARSITANO, M.A.S. (2015). Análise econômica do milho em sucessão a diferentes adubos verdes, manejos do solo e doses de nitrogênio. **Bios. Jour.**, 31(1): 55-64.
- LANA, M.C.; DARTORA, J.; MARINI, D.; HANN, J.E. (2012). Inoculation with *Azospirillum*, associated with nitrogen fertilization in maize. **Rev. Cer.**, 59 (3): 399-405.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. (1997). **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2ed. Piracicaba: POTAFOS, 319p.
- MORAIS, T.P. (2012). **Adubação nitrogenada e inoculação com *Azospirillum brasilense* em híbridos de milho**. 71f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- OLNESS, A.; BENOIT, G.R. (1992). A closer look at corn nutrient demand. **Bet. Cr. with Plant Food**, 76(2): 18-20.
- PEREIRA, W.; LEITE, J.M.; HIPÓLITO, G.S.; SANTOS, C.L.R.; REIS, V.M. (2013). Acúmulo de biomassa em variedades de cana-de-açúcar inoculadas com diferentes estirpes de bactérias diazotróficas. **Rev. Ci. Agr.**, 44: 363-370.
- RAMBO, L.; SILVA, P.R.F. DA; ARGENTA, G.; SANGOI, L. (2004). Parâmetros de planta para aprimorar o manejo da adubação nitrogenada de cobertura em milho. **Rev. Ci. Rur.**, 34(5): 1637-1645.
- SABUNDJIAN, M.T.; ARF, O.; KANEKO, F.H.; FERREIRA, J.P. (2013). Adubação nitrogenada em feijoeiro em sucessão a cultivo solteiro e consorciado de milho e *Urochloa ruziziensis*. **Pesq. Agr. Trop.**, 43(3): 292-299.
- SANTOS, M.M.; GALVÃO, J.C.C.; SILVA, I.R.; MIRANDA, G.V.; FINGER, F.L. (2010). Épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em plantio direto e alocação do nitrogênio (15N) na planta. **Rev. Br. Ci. Sol.**, 34(4): 1185-1194.
- SOUZA, E.F.C.; SORATTO, R.P. (2006). Efeito de fontes e doses de nitrogênio em cobertura, no milho safrinha, em plantio direto. **Rev. Br. Mi. e Sor.**, 5: 395-405.