



Acúmulos de nitrato e amônio em parte aérea e raiz do milho em função da inoculação com *Azospirillum brasilense* associado à corretivos de acidez e doses de nitrogênio

Guilherme Carlos Fernandes^(1*); Fernando Shintate Galindo⁽¹⁾, Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho⁽¹⁾, Wiliam Lima Rodrigues⁽¹⁾, Marcelo Rinaldi da Silva⁽¹⁾, Eduardo Bianchi Baratella⁽¹⁾, Antônio Leonardo Campos Biagini⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira, SP, Brasil, 15385-000 (*e-mail: guilherme.carlos.fernandes@gmail.com)

RESUMO: A utilização de *Azospirillum brasilense* vêm crescendo em função do potencial de fixação biológica de nitrogênio em gramíneas (FBN). Entretanto, novos estudos são necessários para definir o quanto de N mineral pode ser aplicado sem afetar a contribuição da FBN e maximizar a produtividade de grãos. Outra prática, que exerce benefícios sobre gramíneas, principalmente quando as plantas sofrem estresses bióticos e abióticos, é a utilização do silício. Objetivou-se avaliar o efeito da inoculação com *A. brasilense*, associado à doses de N e aplicação de Si na forma de corretivo de acidez em solo de Cerrado Brasileiro, avaliando os acúmulos de nitrato (NO₃) e amônio (NH₄) em raiz e parte aérea na cultura do milho irrigado. O estudo foi realizado em Selvíria – MS, Brasil sob sistema plantio direto em um Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa na safra 2015/16. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições dispostos em arranjo fatorial 2 x 5 x 2: duas fontes de corretivo de acidez (calcário dolomítico e silicato de Ca e Mg), cinco doses de N aplicado em cobertura (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹), com e sem inoculação das sementes com *A. brasilense*. O aumento das doses de N aumentou o acúmulo de NH₄ e NO₃ na raiz até a dose de 185 e 200 kg ha⁻¹, respectivamente. A aplicação de Si na forma de silicato de Ca e Mg reduziu o acúmulo de NH₄ na raiz. A inoculação com *A. brasilense* não influenciou nos resultados.

Termos de indexação: fixação biológica de nitrogênio em gramíneas, manejo da adubação nitrogenada, silicato de Ca e Mg

INTRODUÇÃO

A utilização de novas tecnologias sustentáveis, visando aumento na produtividade e qualidade de alimentos se faz imprescindível na busca de uma agricultura competitiva e de baixa emissão de carbono. Nesse contexto, práticas que busquem mitigar a utilização de insumos e/ou otimizar sua utilização são estratégias que devem ser utilizadas

nos sistemas agrícolas. Por isso, a utilização de inoculantes contendo bactérias diazotróficas que

promovem o crescimento e incrementam a produtividade de plantas chamam cada vez mais atenção (GALINDO et al., 2016).

A tecnologia de inoculação de não leguminosas com bactérias promotoras do crescimento de plantas não simbióticas (PGPB), cujo principal representante é *Azospirillum* spp. é também cada vez mais adotado em diversos países, especialmente para culturas como milho e trigo (GALINDO et al., 2017), principalmente em função da possibilidade de aumentar a eficiência da adubação nitrogenada, devido ao alto custo fertilizantes e a conscientização de uma agricultura sustentável e menos poluente.

Entretanto, novas pesquisas são necessárias para definir quanto de N mineral pode ser aplicado para atingir níveis satisfatório de FBN com o *Azospirillum brasilense* em gramíneas, visando lucro ao produtor rural e em prol de uma agricultura com menos utilização de insumos (GALINDO et al., 2016).

Outra prática que se insere no contexto sustentável é a utilização do silício, que exerce inúmeros benefícios nas gramíneas, especialmente quando as plantas são submetidas a estresses bióticos e abióticos. Além disso, o silicato de Ca e Mg, além de corrigir a acidez, eleva os teores de fósforo, cálcio, magnésio e silício e, conseqüentemente, saturação por bases, reduzindo o efeito tóxico ferro, manganês e alumínio (REIS et al., 2008). O Si também pode estimular o crescimento das plantas através da formação de folhas verticais e melhor arquitetura da planta que aumentam a taxa fotossintética, com conseqüente redução do acamamento devido à maior rigidez estrutural dos tecidos, e ainda apresenta outro importante benefício relacionado à redução na taxa de transpiração (REIS et al., 2008). Diante o exposto, e frente à carência de informações sobre esta interação, acredita-se que possa existir efeito sinérgico entre a inoculação com *A. brasilense* e a aplicação de silício, possibilitando assim, maior eficiência da adubação nitrogenada e conseqüentemente alteração no acúmulo de N na cultura do milho. Desta forma, objetivou-se avaliar os acúmulos de NO₃ e NH₄ na cultura do milho irrigado



em parte aérea e raiz, em função doses de N, fontes de corretivo de acidez e inoculação com *A. brasilense* na sementes.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no município de Selvíria, MS (22° 22 'latitude S e 51° 22 'O longitude, com altitude de 335 m) durante a safra de 2015/16. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa, segundo Embrapa (2013), cultivada com lavouras anuais há mais de 28 anos, com os últimos 11 anos sob o sistema de plantio direto, e as culturas anteriores ao milho foram milho e trigo, respectivamente.

Foi utilizado um delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições, dispostos em esquema fatorial $2 \times 5 \times 2$. composto por duas fontes corretivas do solo (calcário dolomítico PRNT = 80%, CaO = 28% e MgO = 20% e silicato de Ca e Mg como fonte de Si PRNT = 88%, Ca = 25%, Mg = 6% e Si total = 10%); Cinco doses de N (0,50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹, na forma de ureia) aplicados em cobertura; com e sem inoculação do sementes com *A. brasilense*. As parcelas do experimento de milho apresentavam 5 m de comprimento com 6 linhas espaçadas por 0,45 m.

Os atributos químicos do solo na camada arável foram determinados antes da implementação do experimento em 2015, seguindo a metodologia proposta por Raij et al. (2001). Foram obtidos os seguintes resultados: na camada 0-0,20 m: 9,4 mg dm⁻³ Si, 19 mg dm⁻³ P (resina); 10 mg dm⁻³ de S-SO₄; 21 g dm⁻³ de matéria orgânica; pH 5,0 (CaCl₂); K, Ca, Mg, H + Al e Al = 2,1; 19,0; 13,0; 28,0 e 1,0 mmol^c dm⁻³, respectivamente; Cu, Fe, Mn, Zn (DTPA) = 3,1; 20,0; 27,2 e 0,8 mg dm⁻³, respectivamente; 0,17 mg dm⁻³ B (água quente) e 55% de saturação por bases.

Com base na análise do solo e com o objetivo de aumentar a saturação por bases para 80%, as doses de 1,94 t ha⁻¹ de calcário dolomítico e 1,76 t ha⁻¹ de silicato de cálcio e magnésio foram aplicados 30 dias antes da semeadura milho, à lanço e sem incorporação. Para adubação de semeadura foram utilizados 375 kg ha⁻¹ da fórmula 08-28-16, baseado na análise do solo e produtividade esperada da cultura do milho.

A inoculação da sementes de milho com a bactéria *Azospirillum brasilense* estirpes Ab-V5 e Ab-V6 (garantia de 2×10^8 unidades formadoras de colônia - UFC/mL), foi realizada na dose de 300 mL de inoculante (líquido) por hectare, uma hora antes da semeadura e após o tratamento e secagem completa das sementes com inseticida e fungicida. Para o tratamento de sementes, o fungicida piraclostrobina + tiofanato-metílico (6g + 56g de i.a. por 100 kg de semente) e o inseticida fipronil (62 g

de i.a. por 100 kg de semente) foram utilizados.

A semeadura mecânica do híbrido simples DOW 2B710 PW foi realizada em 13/11/15, sendo semeadas 3,3 sementes por metro. A emergência das plântulas ocorreu cinco dias após semeadura, em 18/11/2015. A safra de milho foi irrigada usando um sistema de pivô central, com uma lamina média

de 14 mm e um intervalo de irrigação de aproximadamente 72 h.

Os herbicidas à base de tembotriona (84 g ha⁻¹ de i.a.) e atrazina (1000 g ha⁻¹ de i.a.) foram aplicados para o controle de plantas daninhas pós-emergência além da adição do óleo vegetal (720 g ha⁻¹ de i.a.) na calda do herbicida, e o controle dos insetos foi realizado com metomil (215 g ha⁻¹ i.a.) em 04/12/2015.

A adubação em cobertura com N (tratamentos) foi aplicada entre as linhas do milho, em 13/12/15 no estágio fenológico com seis folhas completamente desdobradas (V6). A aplicação foi feita manualmente, distribuindo-se o fertilizante na superfície do solo (sem incorporação e à lanço), ao lado aproximadamente 10 cm das linhas, a fim de evitar o contato do adubo com as plantas.

Em ocasião de florescimento, foram coletadas cinco plantas inteiras, e posteriormente parte e aérea e raiz foram separadas, lavadas e secas em estufa à 65°C. Posteriormente o material vegetal foi pesado e os teores de NO₃ e NH₄ foram determinados em laboratório seguindo metodologia adaptada de Silva, (2009).

Com base nos resultados de teores de NO₃ e NH₄ obtidos e na massa seca de parte aérea e raiz, foram calculados os acúmulos de NO₃ e NH₄ em parte aérea e raiz, em g ha⁻¹.

Análise estatística

Os resultados foram avaliados pela análise de variância (teste F) e teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação de médias dos corretivos de solo (calcário e silicato de Ca e Mg) e da inoculação ou não com *Azospirillum brasilense* e, ajustadas a equações de regressão para o efeito das doses de N, utilizando-se o programa SISVAR.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A inoculação com *A. brasilense* não afetou os acúmulos de NO₃ e NH₄ em parte aérea e raiz do milho (**Tabela 1**).

As fontes de corretivo não influenciaram os acúmulos de NO₃ e NH₄ em parte aérea e raiz do milho, exceto para o acúmulo de NH₄ na raiz, onde a utilização do calcário propiciou maior acúmulo comparativamente ao silicato de Ca e Mg (**Tabela 1**). As doses de N influenciaram positivamente o



acúmulo de NO_3 e NH_4 na raiz, com ajuste à função quadrática até a dose de 185 kg ha^{-1} para o acúmulo de NH_4 e ajuste à função linear crescente para o acúmulo de NO_3 (Tabela 1).

Tabela 1. Acúmulos de NO_3 e NH_4 em parte aérea e raiz do milho em função de corretivos de acidez do solo, doses de nitrogênio, com ou sem inoculação com *Azospirillum brasilense*. Selvíria MS, 2015/16

	NH_4 P.A.	NO_3 P.A.	NH_4 Raiz	NO_3 Raiz
------(g.ha ⁻¹)-----				
Doses de N				
0	2023.68	1445.44	110.57	258.62
50	3047.79	2536.34	161.85	362.61
100	2568.71	2027.68	173.27	397.27
150	2371.19	1878.49	209.49	495.46
200	2746.68	2281.97	200.98	470.03
Formas de corretivos				
Calcário	2651.90	2064.78	186.47	414.01
	a	a	a	a
Silicato de Ca e Mg	2451.33	2003.18	155.99	379.59
	a	a	b	a
D.M.S (5%)	418.42	326.87	20.83	72.69
Inoculação				
Sem A.	2540.86	2042.83	177.17	429.65
<i>brasilense</i>	a	a	a	a
Com A.	2562.36	2025.14	165.29	363.94
<i>brasilense</i>	a	a	a	a
D.M.S (5%)	418.42	326.87	20.83	72.94
Média Geral	2551.61	2033.98	171.23	396.80
C.V (5%)	24.78	24.28	18.38	27.68

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade $\text{NH}_4\text{raiz} = Y = 112.0001 + 0.9986x - 0.0027x^2$ ($R^2 = 0.96^*$ e P.M. = 185 kg ha^{-1})

$\text{NO}_3\text{raiz} = Y = 285.6632 + 1.111x$ ($R^2 = 0.87^{**}$)

CONCLUSÕES

O aumento das doses de N aumentou o acúmulo de NH_4 e NO_3 na raiz até a dose de 185 e 200 kg ha^{-1} , respectivamente.

A aplicação de Si na forma de silicato de Ca e Mg reduziu o acúmulo de NH_4 na raiz.

A inoculação com *A. brasilense* não influenciou os acúmulos de NO_3 e NH_4 em parte aérea e raiz.

REFERÊNCIAS

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3a ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2013. 353p.

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; SANTINI, J. M. K.; ALVES, C. J.; NOGUEIRA, L. M.;

LUDKIEWICZ, M. G. Z.; ANDREOTTI, M.; BELLOTTE, J. L. M. Corn yield and foliar diagnosis affected by nitrogen

fertilization and inoculation with *Azospirillum brasilense*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 40, n. 1, p. e015036, 2016.

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; SANTINI, J. M. K.; ALVES, C. J.; LUDKIEWICZ, M. G. Z. Wheat yield in the Cerrado as affected by nitrogen fertilization and inoculation with *Azospirillum brasilense*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 52, n. 9, p. 794-805, 2017.

RAIJ, B. Van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: IAC, 2001. 285 p.

REIS, M.A.R.; ARF, O.; da SILVA, M.G.; de SÁ, M.E.; BUZETTI, S. Aplicação de silício em arroz de terras altas irrigado por aspersão. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 30, n. 1, p. 37-43, 2008.

SILVA, F. C. da. (Ed.). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009, 627 p.