

Fontes de nitrogênio associadas a *Azospirillum brasilense*: impacto sobre o crescimento e a produtividade do milho

Nitrogen sources associated with *Azospirillum brasilense*: impact on growth and yield maize

Lucas Gaviraghi^{1,*}, Claudir José Basso¹, Mateus Junior Rodrigues Sangiovo¹, Diecson Ruy Orsolin da Silva¹, Janine Diéle Feltes¹ & Fernanda Marcolan De Souza²

¹Departamento de Ciências Agrônômicas e Ambientais da Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen, Frederico Westphalen, RS, Brasil

²Departamento de Agricultura, Faculdade de Ciências Agrárias de Botucatu, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, SP, Brasil

(*E-mail: mateus.sangiovo03@gmail.com)

<https://doi.org/10.19084/rca.27168>

Recebido/received: 2022.05.12

Aceite/accepted: 2022.09.13

RESUMO

A cultura do milho é extremamente dependente do nitrogênio para altas produtividades, sendo necessários estudos que beneficiem a eficiência deste nutriente. Por isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de inoculação da bactéria *Azospirillum brasilense* associada a adubação mineral e a cama de aves como estratégias de manejo da adubação nitrogenada para a cultura do milho. Os tratamentos foram dispostos em blocos de forma casualizada, sendo estes: T1- Controle; T2 - *A. brasilense*; T3 - 100% N mineral (180 kg ha⁻¹); T4 - 50% de N mineral + *A. brasilense*; T5 - 50% N mineral + 50% cama de aves + *A. brasilense* e T6 - 50% N mineral + 50% cama de aves. Melhores rendimentos de grãos foram obtidos quando se utilizou adubação com fertilizante mineral e também quando utilizada adubação mineral e cama de aves na mesma proporção. Na cultura do milho, a utilização do *Azospirillum brasilense* associado ou não a cama de aves e a adubação mineral na forma de ureia, não se mostrou eficiente sobre componentes primários e secundários de rendimento e na produtividade final de grãos de milho.

Palavras-chave: Inoculação, Fixação de nitrogênio, Nutrição mineral, Cama de frango

ABSTRACT

The corn crop is extremely dependent on nitrogen for high yields, making necessary studies that benefit the efficiency of this nutrient. Therefore, this work evaluated the effects of inoculation with the bacterium *Azospirillum brasilense* associated with mineral fertilization and poultry litter as management strategies of nitrogen fertilization for corn. Treatments were organized in random blocks, and identified as: T1 - Control; T2 - *A. brasilense*; T3 - 100% mineral N (180 kg ha⁻¹); T4 - 50% mineral N + *A. brasilense*; T5 - 50% mineral N + 50% poultry litter + *A. brasilense* and T6 - 50% mineral N + 50% poultry litter. The best grain yields were when using fertilization with mineral fertilizer and also when using mineral fertilizer and poultry litter in the same proportion. In corn, the use of *Azospirillum brasilense* associated or not with poultry litter and mineral fertilization in the form of urea was not efficient on primary and secondary yield components and on the final productivity of corn grains.

Keywords: Inoculation, Nitrogen fixation, Alternative fertilization, Mineral nutrition.

INTRODUÇÃO

Dentre os nutrientes essenciais, o nitrogênio (N) é o de maior importância e demanda pela cultura do milho, uma vez que além da clorofila, compõem substâncias como proteínas, enzimas e ácidos nucleicos. Assim, o N é determinante para a formação das espigas e peso de grãos, além de influenciar de forma direta no rendimento da cultura, uma vez que é essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Silva *et al.*, 2013).

O alto custo dos fertilizantes nitrogenados minerais, as preocupações com a poluição ambiental e os anseios mediante uma agricultura sustentável (Sá *et al.*, 2017), estão impulsionando a utilização de fontes alternativas de N nos sistemas de produção. Diante disso, a utilização de resíduos provenientes da produção animal em áreas de lavoura é importante pois, além de garantir o cumprimento da legislação ambiental quanto ao destino deste resíduo (Lana *et al.*, 2010), saber se constituem uma fonte alternativa de nutrientes.

A cama de aves, além de apresentar elevadas concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio, é uma fonte de matéria orgânica (Fernandes *et al.*, 2013), auxiliando na melhoria das condições químicas, físicas e biológicas do solo. A associação do N proveniente de resíduo orgânico e do N mineral, pode trazer benefícios quanto à dinâmica e quanto ao sincronismo entre disponibilidade e demanda deste nutriente à cultura. A cama de aves segundo Santos *et al.* (2010), possui alta relação carbono/nitrogênio (C/N), fazendo com que a liberação do N ocorra de forma gradual, e ao longo de todo o desenvolvimento e ciclo da cultura, pelo fato que a liberação destes nutrientes depende principalmente do processo de mineralização através da atividade dos microrganismos do solo, diferente do N mineral de rápida disponibilidade para a cultura logo após a aplicação (Brondani *et al.*, 2021).

Azospirillum brasilense é uma bactéria de vida livre que apresenta capacidade de associação com raízes de gramíneas, possibilitando o aumento e a assimilação de N pelas plantas através do sincronismo entre: solo - microrganismo - planta (Saubidet *et al.*, 2002). Estas bactérias auxiliam na produção de hormônios vegetais que favorecem o desenvolvimento radicular, podendo aumentar a produtividade,

porém, sem substituir completamente a adubação mineral de N (Cadore *et al.*, 2016). *Azospirillum* sp. pode ser inoculado em plantas de interesse agrícola para estimular o crescimento por meio de múltiplos mecanismos, incluindo a síntese de hormônios vegetais, nutrição aprimorada de nitrogênio, mitigação do estresse e controle biológico da microbiota patogênica (Müller *et al.*, 2020). Sendo que os seus benefícios podem ser potencializados quando associada à utilização de uma fonte orgânica de N na adubação, como a cama de aves. Porém, existe carência de informações técnicas relacionadas com a utilização dessa bactéria associada a cama de aves.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da bactéria *Azospirillum brasilense* utilizada de forma isolada, combinada com a adubação mineral e também com a cama de aves, como estratégias de manejo da adubação nitrogenada, sobre as características morfológicas da planta, componentes de rendimento, além da produtividade final de grãos da cultura do milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no ano agrícola de 2017/2018, no município de Frederico Westphalen - RS a uma altitude de 483 m. O solo da área experimental está classificado como Latossolo Vermelho distrófico e apresentava as seguintes características por ocasião da instalação do experimento: teor de argila: 64%; pH (H₂O): 5,9; P: 3,2 mg dm⁻³

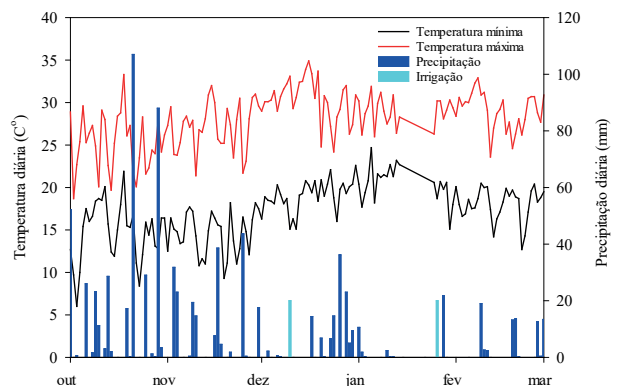


Figura 1 - Temperaturas máxima e mínima diárias, precipitação e irrigação diária durante a condução do experimento, safra 2017/2018.

(Mehlich⁻¹); K: 214,5 mg dm⁻³; Ca²⁺: 6,2 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺: 3,4 cmol_c dm⁻³; e 31 mg dm⁻³ de matéria orgânica.

Os dados de precipitação pluviométrica e temperatura do ar (mínima e máxima) referente ao período de condução do experimento, foram coletados na estação meteorológica automática do INMET de Frederico Westphalen/RS (Figura 1), localizada a 500 m do experimento. Em períodos onde ocorreram irregularidades pluviométricas na distribuição de chuvas, foi realizada intervenções com irrigações.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos constaram de diferentes fontes de N associadas a *A. brasilense*: controle sem aplicação de fonte de N e *A. brasilense* (T1); *A. brasilense* (T2); 180 kg de N ha⁻¹ na forma mineral (T3); 90 kg de N ha⁻¹ de N mineral + *A. brasilense* (T4); 90 kg de N ha⁻¹ de N mineral + 90 kg de N ha⁻¹ via cama de aves + *A. brasilense* (T5); 90 kg de N ha⁻¹ mineral + 90 kg de N ha⁻¹ cama de aves (T6). A ureia (45% de N) foi utilizada como fonte de N mineral. Nos tratamentos com N mineral, foram utilizados 30 kg ha⁻¹ de N no momento da semeadura, sendo o restante em cobertura dividido em duas aplicações de 75 kg ha⁻¹ nos estádios V4 e V8. Os tratamentos que constituíram 90 kg de N ha⁻¹ e 100% de N via cama de aves (2,75% de N), foram aplicados logo após a semeadura do milho. O *A. brasilense*, foi inoculado via sementes no dia da semeadura com Azototal® (Embrapa e Total Biotecnologia), o qual possui as estirpes AbV5 e AbV6 *A. brasilense* e concentração de 2,0 × 10⁸ UFC mL⁻¹ com aplicação de 4 mL kg⁻¹ de sementes de milho. As unidades experimentais foram constituídas por seis fileiras espaçadas entre si 0,45 m e cinco metros de comprimento.

A adubação foi calculada de acordo com a análise de solo da área e conforme o manual de recomendação de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (SBCS, 2016) para uma expectativa de rendimento de grãos de 11.000 kg ha⁻¹. Desta forma, na linha de semeadura, 350 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por ocasião da marcação das linhas para posterior semeadura e a lanço em cobertura, 275 kg ha⁻¹ de K₂O.

A semeadura do milho foi realizada de forma manual no dia 17 de outubro de 2017, sobre área

remanescente de azevém (*Lolium multiflorum*), com produção de massa seca de 8 t ha⁻¹, a qual foi manejada com glyphosate (0,900 g e.a. ha⁻¹). O híbrido utilizado foi o Dekalb 290 VT PRO 3 de ciclo precoce, utilizando-se uma população final de 74.000 plantas ha⁻¹. Após a emergência da cultura, as plantas daninhas foram controladas com glyphosate (0,900 g e.a. ha⁻¹) no estágio V4. As pragas e doenças foram monitoradas e não foi necessária a intervenção com manejo fitossanitário na cultura.

Quando a cultura se encontrava em pleno florescimento, fez-se a coleta de cinco plantas de cada parcela, sendo primeiramente determinada a área foliar (AF), através do comprimento e largura de todas as folhas de cada planta, com utilização da equação de ajuste da AF (comprimento x largura x 0,75) para se determinar a área foliar (m²), de cada planta. Após esta avaliação, estas mesmas plantas foram levadas a estufa de circulação de ar forçado a 60 °C, para determinação da massa seca da parte aérea das plantas (MSPA).

No estágio de pleno florescimento da cultura, também foram realizadas as seguintes avaliações em 10 plantas dentro da área útil de cada parcela, componentes secundários de rendimento: altura de planta (AP), medindo-se da superfície do solo até a base da última folha estendida; altura de inserção da espiga (AIE), determinada medindo-se da superfície do solo até a base da primeira espiga; com o uso de um paquímetro digital, mediu-se a menor circunferência encontrada no colo no primeiro internódio da planta, obtendo assim o diâmetro de colmo (DC).

Por ocasião da colheita foram determinados os componentes primários de rendimento do milho em 10 plantas coletadas dentro da área útil de cada parcela: número de fileiras de grãos por espiga (NFGE) e grãos por fileira (NGF), contado manualmente o número de fileiras e de grãos por fileira em cada espiga; diâmetro de espiga (DE), com a utilização de um paquímetro digital, onde se mediu o centro de cada uma das espigas avaliadas; comprimento de espiga (CE), medindo-se o comprimento entre as extremidades de cada espiga; massa de grãos por espiga (MGE), para esta avaliação foram pesados os grãos de cada espiga, corrigindo-se a umidade para 13%. A massa de mil grãos (MMG) foi determinada por meio da contagem de oito

repetições de cem grãos de cada parcela, onde se obteve a média e ajuste para massa de mil grãos a 13% de humidade.

A avaliação da produtividade final de grão (PFG) foi realizada através da colheita de todas as plantas das quatro linhas centrais de cada parcela, desconsiderando-se 0,5 m das bordaduras (7,2 m²), sendo estas trilhadas manualmente, e expressando os resultados em kg ha⁻¹ a 13% de humidade.

Os dados foram submetidos à análise de variância e quando as variáveis mostraram significância, as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro, com auxílio do software Genes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 1, se observa que a maior produtividade final de grãos (PFG) foi obtida nos tratamentos com aplicação de 100% da recomendação de nitrogênio seja essa toda na forma mineral ou associada a cama de aves (50% Min + 50% CA). Em relação ao controle, e na média para esses dois tratamentos, o incremento foi de 71,2% na PFG e que está diretamente relacionado, a maior massa de mil grãos (MMG) encontrado também para esses dois tratamentos. Quando todo o N da recomendação foi aplicado via fonte mineral e a cama de aves associado ao *A. brasilense*, a produtividade de grãos foi menor e estatisticamente diferente a adubação 100% mineral.

Mesmo não diferindo significativamente (Quadro 1), a inoculação com *A. brasilense* associado a

uma fonte orgânica (T5) parece reduzir a sua eficiência quando comparado com os tratamentos onde não foi utilizado *A. Brasilense* (T3 e T6). Isso pode estar associado a maior competitividade entre os microrganismos do solo pela adição de uma fonte de carbono e de energia a essa biota do solo. Quando se compara o controle ao tratamento só com inoculação com *A. brasilense*, se observa que os mesmos não diferiram significativamente entre si porém com um incremento de 444 kg ha⁻¹ na produtividade de grãos de milho só com a inoculação com *A. Brasilense*. Este incremento foi semelhante ao observado por Júnior *et al.* (2020), que identificaram aumentos de até 680 kg ha⁻¹ em produtividade quando inoculando com *A. brasilense* em relação ao controle.

A maior PFG observada nos tratamentos com aplicação total e/ou parcial da adubação recomendada de N via mineral, pode estar associada ao seu parcelamento e aplicação em momentos de maior demanda pela cultura, ou seja, um maior sincronismo entre a disponibilidade de N no solo e a demanda pela planta. Por outro lado, e principalmente em anos com precipitações excessivas, a utilização associada do N mineral e da cama de aves, é uma estratégia interessante devido a uma liberação mais gradual desse N da cama de aves ao longo de todo o ciclo da cultura.

A menor PFG encontrada ao inocular com *A. brasilense* em relação aos demais tratamentos com aplicação de N independente da fonte, também pode estar relacionado ao menor diâmetro de colmo, já que este é uma estrutura de reserva, e plantas com essa característica, tendem a ser mais produtivas por acumularem maiores reservas durante a fase

Quadro 1 - Diâmetro de colmo (DC), massa de mil grãos (MMG) e produtividade final de grãos (PFG) da cultura do milho em resposta a associação de fontes de nitrogênio mineral (ureia) e orgânico (cama de aves) e *Azospirillum brasilense*

Tratamentos	DC (mm)	MMG (g)	PFG (Kg ha ⁻¹)
T1 - Controle	20,70 b	356,90 c	6250 c
T2 - <i>A. brasilense</i>	20,32 b	363,41 bc	6694 c
T3 - 100% N min.	23,53 a	425,44 a	11298,25 a
T4 - 50% N min. + <i>A. brasilense</i>	23,10 a	380,97 bc	9123,75 b
T5 - 50% N min. + 50% C.A. + <i>A. brasilense</i>	23,87 a	382,23 bc	9509,75 b
T6 - 50% N min. + 50% C.A.	23,79 a	395,71 ab	10100,00 ab
C.V (%)	2,83	3,84	8,01
Valor de F	25,40*	11,13*	31,01*

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo ^{ns} não significativo e * significativo. N min: nitrogênio mineral; C.A: cama de aves; C.V: coeficiente de variação.

vegetativa e que serão utilizadas na fase reprodutiva para o enchimento de grãos (Favarato *et al.*, 2016), sendo possível encontrar correlação desta variável com a produtividade (Cruz *et al.*, 2008).

Ao se procurar associar a inoculação com *A. brasilense* como uma estratégia de redução da adubação nitrogenada, verificou-se no tratamento com *A. brasilense* + 50% de N mineral, uma redução de 23,9% da PFG, quando comparada com a suplementação de 100% de N na forma mineral (Quadro 1). Estes resultados colaboram com os encontrados por Repke *et al.* (2013) e Sangoi *et al.* (2015), que não observaram incrementos na produtividade da cultura do milho quando esta associação foi realizada. Em contrapartida, Araújo *et al.* (2014) verificaram incrementos significativos na produtividade e com possibilidade de redução de doses de N ao associar *A. brasilense* a níveis de adubação na cultura do milho verde. Para Oliveira *et al.* (2018), a inoculação com *A. brasilense* na semeadura + N mineral em cobertura tendem a proporcionar rendimento de grãos semelhantes ao manejo tradicional de N mineral na semeadura e em cobertura, justificando ser uma alternativa viável para se reduzir o uso de fertilizantes nitrogenados (Oliveira *et al.*, 2018), embora, as diferentes respostas da cultura à inoculação de *A. brasilense* ainda não estão totalmente elucidadas (Repke *et al.*, 2013).

Quando se utiliza N independente da fonte e aplicada de forma isolada ou associada, se observa que o DC para estes tratamentos não diferiu entre si e foram superiores ao observado para o DC de plantas inoculadas com *A. brasilense*. A utilização desta bactéria tem sido apontada como uma alternativa para redução dos efeitos de estresses

nas plantas, através do aumento do crescimento de pelos radiculares que potencializam o aumento da área de contato solo – raiz e permitindo assim, que os efeitos por falta de água e nutrientes sejam amenizados (Zambonin *et al.*, 2019). Como durante a condução do experimento houve boas condições para o desenvolvimento da cultura de milho, os benefícios da inoculação com *A. brasilense* não se evidenciaram significativamente.

Não houve diferença significativa entre os tratamentos com aplicação de N para a variável massa seca da parte aérea (MSPA) (Quadro 2). No comparativo ao controle e na média para os tratamentos com aplicação de N, houve um incremento de 19,8% na produção de MSPA do milho com aplicação de N independente da fonte. Estudando a adubação mineral associada à inoculação com *A. brasilense*, Dartora *et al.* (2013), verificaram que a máxima produção de MSPA de milho foi obtida com inoculação do *A. brasilense* associado a uma fonte mineral de N, sendo que esse aumento ocorreu até a dose de 118 kg de N ha⁻¹ e depois decresce.

Semelhante ao observado para a produtividade de grãos, quando se compara os dois tratamentos com aplicação de parte do N via mineral e via cama de aves, embora não diferindo significativamente, se observa uma redução de 5,9% na produção de MSPA quando se inoculou com *A. brasilense*.

A associação de *A. brasilense* com as fontes de N mineral ou cama de aves não alterou a AP ou AF do milho, porém o tratamento em que se inoculou só com *A. brasilense* teve comportamento similar ao controle (Quadro 2). A menor AP encontrada para o tratamento utilizando-se somente inoculação

Quadro 2 - Altura de planta (AP), área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MSPA) da cultura do milho em resposta a associação de fontes de nitrogênio mineral (ureia) e orgânico (cama de aves) e *Azospirillum brasilense*

Tratamentos	AP (m)	AF (m ²)	MSPA (kg ha ⁻¹)
T1 - Controle	2,58 bc	0,6697 c	10208 b
T2 - <i>A. brasilense</i>	2,53 c	0,6797 bc	10234 b
T3 - 100% N min.	2,70 ab	0,8075 a	12487 a
T4 - 50% N min. + <i>A. brasilense</i>	2,69 ab	0,7702 ab	12508 a
T5 - 50% N min. + 50% C.A + <i>A. brasilense</i>	2,68 ab	0,7562 ab	11640 a
T6 - 50% N min. + 50% C.A	2,73 a	0,7992 a	12380 a
C.V (%)	2,28	5,37	9,57
Valor de F	6,33*	9,53*	3,53*

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo ^{ns} não significativo e * significativo; N min: nitrogênio mineral; C.A: cama de aves; C.V: coeficiente de variação.

com *A. brasilense* coincide com os resultados do trabalho de Portugal *et al.* (2017), onde o efeito da inoculação desta bactéria em milho no Cerrado Brasileiro produziu plantas com menor altura e massa de mil grãos. Folhas bem nutridas em N têm maior capacidade de assimilar CO₂ e sintetizar carboidratos durante a fotossíntese, resultando em maior crescimento e duração da área foliar, imprescindível para uma boa de formação dos grãos (Repke *et al.*, 2013).

No tratamento com a aplicação 100% de N mineral, o Quadro 3 mostra que houve um maior incremento na massa de grãos por espiga (MGE), semelhante ao observado no quadro 1 para a MMG e a PFG. Isso mostra a importância dessas variáveis juntamente com o NFG e NGF na produtividade final de grãos.

Não houve diferença estatística no NFG em nenhum tratamento (Quadro 3). Este resultado foi semelhante ao observado por Kappes *et al.* (2013),

onde a inoculação de sementes de milho com *A. brasilense* associado à aplicação de N em cobertura no milho, constaram que o NFG e o diâmetro da espiga não foram influenciados por nenhum dos tratamentos utilizados. De modo geral, a inoculação de *A. brasilense* também não impactou positivamente nenhuma das variáveis analisadas no Quadro 3.

Para o comprimento de espiga (CE) e diâmetro da espiga (DE), quando se compara os tratamentos com aplicação de 100% da recomendação (50% N min + 50% N C.A) com um desses tratamentos associados ao *A. brasilense*, não houve diferença estatística entre eles, porém no comparativo aos tratamentos 100% N mineral, essa associação reduziu significativamente o comprimento e o diâmetro da espiga (Quadro 4).

Quando comparado ao controle e ao tratamento com apenas a inoculação do *A. brasilense*, o tratamento com aplicação de 100% da recomendação de

Quadro 3 - Massa de grão por espiga (MGE), número de grãos por fileira (NGF) e número de fileiras de grãos por espiga (NFG) da cultura do milho em resposta a associação de fontes de nitrogênio mineral (ureia) e orgânico (cama de aves) e *Azospirillum brasilense*

Tratamentos	MGE (g)	NGF	NFG
T1 - Controle	114,35 c	21,75 c	17,55 a
T2 - <i>A. brasilense</i>	118,04 c	22,55 c	17,50 a
T3 - 100% N min.	194,79 a	28,22 a	17,75 a
T4 - 50% N min. + <i>A. brasilense</i>	164,34 b	25,90 b	17,65 a
T5 - 50% N min. + 50% C.A + <i>A. brasilense</i>	155,88 b	25,60 b	17,45 a
T6 - 50% N min. + 50% C.A	167,71 b	27,38 ab	17,50 a
C.V (%)	5,97	3,29	3,10
Valor de F	46,49*	38,87*	0,15 ^{ns}

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo ^{ns} não significativo e * significativo. N min: nitrogênio mineral; C.A: cama de aves; C.V: coeficiente de variação.

Quadro 4 - Comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE) e altura de inserção da espiga (AIE) da cultura do milho em resposta a associação de fontes de nitrogênio mineral (ureia) e orgânico (cama de aves) e *Azospirillum brasilense*

Tratamentos	CE (cm)	DE (mm)	AIE (m)
T1 - Controle	12,01 d	47,23 ca	1,45 b
T2 - <i>A. brasilense</i>	12,27 cd	47,07 ca	1,45 b
T3 - 100% N min.	14,69 aa	52,79 aa	1,54 ab
T4 - 50% N min. + <i>A. brasilense</i>	13,81 ab	50,96 ab	1,55 ab
T5 - 50% N min. + 50% C.A + <i>A. brasilense</i>	13,30 bc	49,76 ba	1,56 ab
T6 - 50% N min. + 50% C.A	13,62 ab	51,15 ab	1,64 a
C.V (%)	4,12	3,00	3,11
Valor de F	13,38*	27,40*	8,88*

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo ^{ns} não significativo e * significativo. N min: nitrogênio mineral; C.A: cama de aves; C.V: coeficiente de variação.

N mineral apresentou os maiores valores para CE e DE. O menor DE para o tratamento envolvendo somente a inoculação com *A. brasilense* também foi observado por Cunha *et al.* (2014), quando compararam o uso da bactéria em diferentes doses de nitrogênio. Segundo Cruz *et al.* (2008), os componentes de espiga, além de influenciarem diretamente na massa da matéria seca das espigas, impactam de forma substancial na produtividade final de grãos, o que vem de encontro com este estudo.

Quanto à altura de inserção da espiga (AIE), no tratamento onde se utilizou 50% N mineral + 50% cama de aves, a inoculação com *A. brasilense* reduziu de forma significativa a altura de inserção de espiga. Em um trabalho realizado por Lana *et al.* (2012) no estado do Paraná, onde foi avaliado o efeito da adubação nitrogenada com ou sem inoculação de *A. brasilense* na cultura do milho, os autores verificaram que a AIE e AP não sofreram efeito da interação entre a inoculação e a adubação mineral nitrogenada, os quais atribuíram esse fator à genética do híbrido utilizado.

Por fim, a inoculação de milho com a bactéria diazotrófica *A. brasilense*, nas condições deste estudo, sugerem que melhores resultados podem ser evidenciados através da aplicação via sulco no momento da semeadura ao invés da inoculação de sementes e aumento sobre a dose de *A. brasilense*. A inoculação via sulco de semeadura tem benefícios para a sobrevivência e funcionalidade das bactérias diazotróficas, através do maior volume de calda que será aplicado e maior área de contato entre solo-bactéria, sendo a funcionalidade do *A. brasiliense* potencializada após a emergência das plantas e início do desenvolvimento radicular. Além disso, as condições de solo como: baixa compactação, alto fluxo de oxigênio e matéria orgânica devem ser relacionados, uma vez que são

essenciais para a sobrevivência e colonização de fungos e bactérias no solo (Passinato *et al.*, 2021). Mais estudos são necessários para o real conhecimento dos efeitos de sua inoculação sobre as culturas, reforçando a importância de identificar interações positivas planta-bactérias.

CONCLUSÃO

A maior produtividade de grãos foi encontrada quando utilizado 100% da adubação mineral, visto que esta disponibilidade de N ocorreu rapidamente para as plantas após a aplicação, tendo poucas perdas por imobilização de N pela palhada da cultura de cobertura (azevém) antecessora ao milho.

A inoculação de sementes da cultura do milho com *Azospirillum brasilense* associado ou não a cama de aves e a adubação mineral na forma de ureia, não se mostrou eficiente sobre componentes primários e secundários de rendimento e na produtividade final de grãos de milho.

Estudos futuros serão realizados utilizando a inoculação via sulco de semente, com aumento de dose e ajustes no ambiente de produção, através de maior aporte de palhada no sistema, retenção de humidade no solo e conservação da temperatura, construção de bioporos contínuos ao longo do perfil que possibilitem um fluxo de oxigênio no solo, criando um microclima favorável à sobrevivência e colonização da bactéria *A. brasiliense*.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Grupo de Pesquisa em Plantas de Lavoura da UFSM/ FW.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, R.M.; Araújo, A.S.F.D.; Nunes, L.A.P.L. & Figueiredo, M.D.V.B. (2014) - Resposta do milho verde à inoculação com *Azospirillum brasilense* e níveis de nitrogênio. *Ciência Rural*, vol. 44, n. 9, p.1556-1560. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20130355>
- Brondani, M.S.; Basso, C.J.; Soares, E.F.S.; Sangiovo, M.J.R.; de Souza Leandro, E.V.; Gaviraghi, L.; Farias, M.S. & Santi, A. L. (2021) - Impacto da inoculação com *Azospirillum brasilense* associado a fontes de nitrogênio na cultura do milho. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 44, n. 4, p. 269-277. <https://doi.org/10.19084/rca.25241>
- Cadore, R.; Netto, A.P.D.C.; dos Reis, E.F.; Ragagnin, V.A.; Freitas, D.S.; de Lima, T.P.; Rossato, M. & D'Abadia, A.C.A. (2016) - Híbridos de milho inoculados com *Azospirillum brasilense* sob diferentes doses de nitrogênio. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, vol. 15, n. 3, p. 399-410. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v15n3p398-409>
- Cruz, S.; Pereira, F.R.D.S.; Santos, J.R.; Albuquerque, A. & Pereira, R.G. (2008) - Adubação nitrogenada para o milho cultivado em sistema plantio direto, no Estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 12, n. 1, p. 62-68. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000100009>
- Cunha, F.N.; da Silva, N.F.; Bastos, F.J.D.C.; de Carvalho, J.J.; Moura, L.M.D.F.; Teixeira, M.B., Rocha, A.C. & Souchie, E.L. (2014) - Efeito da *Azospirillum brasilense* na produtividade de milho no sudoeste Goiano. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, vol. 13, n. 3, p. 261-272. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v13n3p261-272>
- 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. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 17, n. 10, p. 1023-1029. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013001000001>
- Favarato, L.F.; Souza, J.L.; Galvão, J.C.C.; Souza, C.M.D.; Guarconi, R.C. & Balbino, J.M.D.S. (2016) - Crescimento e produtividade do milho-verde sobre diferentes coberturas de solo no sistema plantio direto orgânico. *Bragantia*, vol. 75, n. 4, p. 497-506. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.549>
- Fernandes, A.L.T.; Santinato, F.; Ferreira, R.T. & Santinato, R. (2013) - Adubação orgânica do cafeeiro, com uso do esterco de galinha, em substituição à adubação mineral. *Coffee Science*, vol. 8, p. 486-499
- Júnior, N.B.; Alves, G.H.T.; Bellettini, S. & Bellettini, N.M.T. (2020) - Parcelamento de nitrogênio e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. *Brazilian Journal of Development*, vol. 6, n. 11, p. 89544-89663. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-397>
- Kappes, C.; Arf, O.; Arf, M.V.; Ferreira, J.P.; Dal Bem, E.A.; Portugal, J.R. & Vilela, R.G. (2013) - Inoculação de sementes com bactéria diazotrófica e aplicação de nitrogênio em cobertura e foliar em milho. *Semina: Ciências Agrárias*, vol. 34, n. 2, p. 527-538. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n2p527>
- Lana, M.D.C.; Dartora, J.; Marini, D. & Hann, J.E. (2012) - Inoculation with *Azospirillum*, associated with nitrogen fertilization in maize. *Revista Ceres*, vol. 59, n. 3, p. 399-405. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000300016>
- Müller, T.M.; Martin, T.N.; Cunha, V.D.S.; Munareto, J.D.; Conceição, G.M. & Stecca, J.D.L. (2020) - Genetic bases of corn inoculated with *Azospirillum brasilense* via seed and foliar application. *Acta Scientiarum. Agronomy*, vol. 43, art. e48130. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v43i1.48130>
- Oliveira, I.J.; Fontes, J.R.A. & Pereira, B.F.F. (2018) - A inoculação com *Azospirillum brasiliense* aumenta a produtividade do milho. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, vol. 5, art. 6. <https://doi.org/10.1186/s40538-018-0118-z>
- Passinato, J.H., Amado, T.J.; Kassam, A.; Acosta, J.A. & Amaral, L.D.P. (2021) - Soil Health Check-Up of Conservation Agriculture Farming Systems in Brazil. *Agronomy*, vol. 11, n. 12, art. 2410. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122410>
- Portugal, J.R.; Arf, O.; Peres, A.R.; Gitti, D.D.C. & Garcia, N.F.S. (2017) - Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação com *Azospirillum brasilense* em milho no Cerrado. *Revista Ciência Agronômica*, vol. 48, n. 4, p. 639-649. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170074>
- Repke, R.A.; Cruz, S.J.S.; Silva, C.J.D.; Figueiredo, P.G. & Bicudo, S.J. (2013) - Eficiência da *Azospirillum brasilense* combinada com doses de nitrogênio no desenvolvimento de plantas de milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, vol. 12, n. 3, p. 214-226. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v12n3p214-226>

- Sá, J.C.; Lal, R.; Cerri, C.C.; Lorenz, K.; Hungria, M. & de Faccio Carvalho, P.C. (2017) - Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security. *Environment International*, vol. 98, p. 102-112. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.10.020>
- Sangoi, L.; Silva, L.M.M.D.; Mota, M.R.; Panison, F.; Schmitt, A.; Souza, N.M.D.; Giordani, W. & Schenatto, D. E. (2015). Desempenho agrônômico do milho em razão do tratamento de sementes com *Azospirillum* sp. e da aplicação de doses de nitrogênio mineral. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, vol. 39, n. 4, p. 1141-1150. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140736>
- Santos, F.G.D.; Escosteguy, P.A. & Rodrigues, L.B. (2010) - Qualidade de compostos de esterco de ave poedeira submetido a dois tipos de tratamento de compostagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 14, p. 1101-1108.
- Saubidet, M.I.; Fatta, N. & Barneix, A.J. (2002) - The effect of inoculation with *Azospirillum brasilense* on growth and nitrogen utilization by wheat plants. *Plant and Soil*, vol. 245, n. 2, p. 215-222. <https://doi.org/10.1023/A:1020469603941>
- SBCS (2016) - *Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul: Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2016. 376p.
- Silva, F.C.; da Silva, M.M. & Libadi, P.L. (2013) - Aplicação de nitrogênio no cultivo de milho, sob sistema plantio direto: efeitos na qualidade física do solo e características agrônômicas. *Semina: Ciências Agrárias*, vol. 34, n. 6, p. 3513-3528. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n6Supl1p3513>
- Zambonin, G.; Pacentchuk, F.; Lima, F.N.; Huzar-Novakowiski, J. & Sandini, I.E. (2019) - Response of maize crop hybrids, with different transgenic events, to inoculation with *Azospirillum brasilense*. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, vol. 12, n. 1, p. 33-40. <https://doi.org/10.5935/PAeT.V12.N1.03>