



Adubação nitrogenada e inoculação com *Azospirillum brasilense* em cevada

Gustavo Ribeiro BARZOTTO¹, Sebastião Ferreira LIMA^{1*}, Osvaldir Feliciano SANTOS¹,
Gabriel Luiz PIATI¹, Carlos Roberto WASSOLOWSKI¹

¹PPG em Produção Vegetal, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul, Brasil.

* E-mail: sebastiao.lima@ufms.br

Recebido em fevereiro/2017; Aceito em outubro/2017.

RESUMO: A cevada constitui uma importante cultura no Brasil devido, principalmente, a utilização de seu grão na produção de cervejas. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da adubação nitrogenada e da inoculação com *Azospirillum brasilense* em cevada. O experimento foi instalado em campo, utilizando o delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial, sendo quatro doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) na presença ou ausência de inoculação de sementes com *A. brasilense* e três repetições. Foram avaliadas características de crescimento e massa seca de planta, componentes de produção, teor de N e produtividade de grãos. A maior produtividade de grãos foi alcançada com 66 kg ha⁻¹ de N, sem a aplicação da bactéria. Concluiu-se que o uso de *A. brasilense* aumenta a produtividade de grãos de cevada na ausência da adubação nitrogenada, mas não suplanta o ganho de produtividade apenas com o uso do N em doses superiores. A severidade de *B. sorokidiana* foi favorecida com a aplicação de *A. brasilense* nas maiores doses de N. A inoculação com *A. brasilense* é uma alternativa viável para aumentar a produtividade de grãos de cevada, caso se opte pelo cultivo sem fertilização mineral nitrogenada.

Palavra-chave: *Hordeum vulgare*, bactérias diazotróficas, malte.

Nitrogen fertilization and inoculation with *Azospirillum brasilense* in barley

ABSTRACT: The barley is an important crop in Brazil, mainly due to the use of its grain in the production of beers. The objective of this work was to evaluate the effects of nitrogen fertilization and inoculation with *Azospirillum brasilense* on barley. The experiment was carried out in the field, using a randomized block design in a factorial scheme, with four nitrogen doses (0, 40, 80 and 120 kg ha⁻¹) in the presence or absence of seed inoculation with *A. brasilense* and three replications. Growth characteristics and dry mass of the plant, production components, N content and grain yield were evaluated. The highest grain yield was achieved with 66 kg ha⁻¹ of N, without application of the bacteria. It was concluded that the use of *A. brasilense* increases the yield of barley grains in the absence of nitrogen fertilization, but does not supplant the productivity gain only with the use of N in higher doses. The *B. sorokidiana* severity was favored by the application of *A. brasilense* in the highest N doses. The inoculation with *A. brasilense* is a viable alternative to increase the yield of barley grains, in case of cultivation without nitrogen fertilization.

Keywords: *Hordeum vulgare*, diazotrophic bacteria, malt.

1. INTRODUÇÃO

A cevada (*Hordeum vulgare* L.) é uma planta da família Poaceae, cultivada extensamente em diversas regiões do mundo, sendo o quinto grão mais produzido, mas no Brasil, segundo Conab (2017) a produção em 2016 foi de apenas 374,8 mil toneladas. Apesar da baixa produção, são diversas as suas utilizações, com boas indicações a alimentação humana e animal (LIMBERGER et al., 2011; GADELHA et al., 2010), mas é destinada principalmente a fabricação de malte, ingrediente de cervejas e outras bebidas destiladas.

No Brasil, a cevada é cultivada principalmente em estados da região sul do país (CONAB, 2017), sendo tradicionalmente uma cultura de inverno, porém algumas áreas de cerrado têm se mostrado aptas para a produção na entressafra. Sob regime de irrigação, obtém-se boa produtividade e qualidade, podendo inclusive ocorrer menor incidência de doenças, proporcionado pelas condições climáticas característica dessa região (SANCHES et al., 2015). A área plantada no cerrado, entretanto, é insignificante e a produção nacional é insuficiente para garantir o

suprimento das indústrias cervejeiras, que acabam utilizando até 85% de grãos e malte importados (DE MORI; MINELLA, 2012).

Para tornar mais atraente e competitiva a produção da cultura, principalmente em áreas não tradicionais, são necessários estudos que norteiem os manejos e as tecnologias adequadas, e suas respostas, tanto em produtividade quanto em composição nutricional, considerando que a cevada atende a mercados específicos.

Nesse âmbito, o nitrogênio é o nutriente que mais influencia o desenvolvimento da cultura (DORDAS, 2009). Wanser; Mundstock (2007) observaram uma variação no acúmulo de matéria seca de acordo com a disponibilidade do nutriente em diversas estádios da planta, indicando sua interferência na emissão de afixos, assim como na sobrevivência dos mesmos em um período mais tardio, o que impacta na produção de espigas por área.

Essa variação em seu acúmulo nas diversas partes da planta, pode impactar diretamente na produtividade da cultura e na composição nutricional do grão. Foi isso que

encontraram Cai et al. (2011), uma relação positiva entre o teor de nitrogênio e a produtividade em cevada, estudado também em outras gramíneas, quando Wolff; Floss (2008) verificaram igual tendência entre o teor de N na folha bandeira e a produtividade de aveia-branca. No entanto, de acordo com Wanser; Mundstock (2007), a maior disponibilidade de nitrogênio pode causar aumento no teor de proteínas do grão para além do permitido pela indústria cervejeira. Isso indica a importância de se conhecer o metabolismo do nitrogênio nas plantas de cevada para conseguir maior eficiência na sua utilização.

Uma das alternativas para melhorar o uso do nutriente é a inoculação de rizobactérias em gramíneas, principalmente o *Azospirillum brasilense*, que já se mostrou capaz de incrementar a produção de milho (KAPPES et al., 2013) e cevada em casa de vegetação (SANTA et al., 2004), porém não em trigo (NUNES et al., 2015), comprovando a necessidade de se estudar a adaptação e eficiência da inoculação em diversos materiais e condições ambientais. Os efeitos positivos da associação da bactéria com as plantas parecem se relacionar com a capacidade de produção de substâncias promotoras do crescimento, tais como auxinas e outros hormônios vegetais (MOREIRA et al., 2010), atuando através do crescimento ácido pelo efluxo de prótons nas raízes (AMOOAGHAIE et al., 2002), proporcionando plantas maiores (HUNGRIA, 2011), com uma maior atividade fotossintética (BASHAN et al., 2006). Além disso, o *A. brasilense* é considerado diazotrófico, capaz de fixar nitrogênio (HUNGRIA, 2011), atendendo de 40 a 50% da necessidade desse nutriente em cereais (REDDY; LADHA, 2000).

Como a associação não supre todo o nitrogênio utilizado pela planta, é necessário avaliar quais os efeitos da inoculação sobre a dose a ser aplicada, além das respostas fisiológicas na planta. Outros estudos relacionam um aumento na atividade da enzima redutase do nitrato, a solubilização de fosfatos inorgânicos e a produção de substâncias atenuadoras de estresse (BASHAN; DE-BASHAN, 2010; CASSÁN et al., 2009) como demais possíveis interferências da bactéria nas culturas inoculadas.

Não se reconhece um mecanismo provido ou causado pela bactéria que seja preponderante ao maior desenvolvimento das plantas, mas pode-se considerar um efeito aditivo entre os citados e provavelmente outros (BASHAN; DE-BASHAN, 2010). Isto pode explicar também o porquê de não se obter um resultado constante causado pela inoculação, o que por vezes acaba por não interferir na produtividade, mas pode estar refletindo em um maior acúmulo de nutrientes nas plantas, em plantas mais resistentes a estresses bióticos e abióticos, em melhor arquitetura e maior eficiência na utilização de nutrientes. Isto tudo pode ser enquadrado em um sistema de manejo, bastando para isso estudos que esclareçam as respostas da inoculação com *Azospirillum brasilense* em diversas culturas, neste caso, a cevada.

Dessa forma, objetivou-se avaliar os efeitos da adubação nitrogenada e da inoculação com *Azospirillum brasilense* em cevada.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul em Chapadão do Sul - MS. O município está situado a uma altitude média

de 820 m e o clima é classificado, de acordo com Köppen, como tipo Aw, tropical úmido, com temperatura média em torno de 29°C, tendo precipitação pluviométrica média anual de 1.850 mm, com concentração de chuva no verão e seca no inverno (CUNHA et al., 2013). O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho distrófico com horizonte B latossólico, de textura argilosa, cultivado a vários anos com culturas anuais em sistema convencional, sendo a ervilha a última explorada. A análise química apresentou os seguintes resultados na profundidade de 0 a 20 cm: pH (CaCl₂) – 4,9; MO – 33,5 mg dm⁻³; P (resina) – 9 mg dm⁻³; Ca²⁺ – 2,9 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ – 0,9 cmol_c dm⁻³; K⁺ – 0,07 cmol_c dm⁻³; H + Al – 2,9 cmol_c dm⁻³; CTC de 6.77 cmol_c dm⁻³ e 53,7 % de saturação por bases.

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial, sendo quatro doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) na presença ou ausência de inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense*, e três repetições. Cada parcela consistiu de cinco linhas espaçadas de 0,17 m entre si e comprimento de quatro metros, com área individual de 3,4 m².

A semeadura ocorreu no dia 2 de julho de 2014, sendo realizada de forma manual, na proporção de 250 sementes por m². As sementes foram tratadas com Carboxina + Tiram na dose de 50 mL por 100 kg de sementes e Piraclostrobina + Tiofanato metílico + Fipronil na dose de 100 mL por 100 kg de sementes e os tratamentos que foram inoculados receberam o *A. brasilense* na dose de 3,0 mL kg⁻¹ de sementes (Masterfix® Gramíneas, estirpes Ab-V5 e Ab-V6, com 10⁸ células viáveis ml⁻¹). O preparo do solo foi realizado com uma gradagem e a adubação de base ocorreu de forma manual, na linha de semeadura, seguindo o resultado da análise do solo e as recomendações para a cultura (SOUZA; LOBATO, 2004), utilizando 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aplicado na forma de superfosfato simples e 50 kg ha⁻¹ de K₂O, aplicado na forma de cloreto de potássio (KCl). A adubação de cobertura foi realizada, manualmente, 41 dias após a emergência (DAE), com aplicação, de acordo com cada tratamento, das doses de nitrogênio na forma de ureia e 40 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de KCl. O manejo fitossanitário foi realizado apenas para o controle de pragas, sendo uma aplicação feita com 2 g ha⁻¹ de Deltametrina, aos 20 dias após emergência, visando o controle de lagartas e outra aplicação durante o enchimento dos grãos, com 100 g ha⁻¹ de Imidacloprid, visando o controle de percevejos.

Aos 90 DAE (florescimento pleno) foi realizado a coleta de dez plantas dentro de cada parcela, sendo determinado altura de plantas (ALT; cm), definida pela distância do solo até a extremidade superior da espiga terminal, descontando-se as aristas; número de perfilhos (NP) e número de espigas (NE). Em seguida separaram-se as plantas em parte aérea (caule + folhas) e espigas, efetuando-se a secagem das mesmas em estufa de circulação de ar forçada a 65°C durante 72 horas, determinando assim a massa seca de parte aérea (MSPA) e a massa seca de espigas (MSESP). O material então foi moído em moinho do tipo Willey para determinação dos teores de nitrogênio na parte aérea (TNPA) e nas espigas (TNE), pelo método micro Kjeldahl, adaptada por Galvani e Gaertner (2006).

A colheita ocorreu 112 DAE, quando 70% das folhas bandeiras apresentavam a coloração característica da maturação fisiológica, sendo utilizado as duas linhas centrais da parcela. Avaliou-se o número de grãos por espiga (NGE),

de dez plantas ao acaso e após a trilha manual, a produtividade de grãos (PROD) que foi considerada a 13% de umidade, massa de cem grãos (MCG) e teor de nitrogênio nos grãos (TNG). Devido a presença do patógeno *Bipolaris sorokiniana* no final do ciclo da cultura, avaliou-se sua severidade, por meio da comparação de dez folhas obtidas ao acaso por parcela, com uma escala diagramática de severidade da doença, com dez níveis - 1<10 (não publicada).

Os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F e comparadas pelo teste de Tukey a 5% para o fator inoculação e regressão para doses de nitrogênio.

3. RESULTADOS

Ocorreu interação significativa para todas as variáveis analisadas. A inoculação com *A. brasilense* proporcionou maior altura de plantas em relação aos tratamentos não inoculados, refletindo da mesma forma no acúmulo de massa seca da parte aérea, exceto para a dose de 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio (Tabela 1).

A dose que proporcionou maior altura de plantas foi de 36 kg ha⁻¹ para o tratamento não inoculado e 69,3 kg ha⁻¹ para o tratamento inoculado (Figura 1). O número de perfilhos emitidos foi superior nos tratamentos inoculados na ausência de adubação nitrogenada e na maior dose e inferior nas doses intermediárias (Tabela 1).

Tabela 1. Altura de plantas (AP), número de perfilhos (NP), número de espigas (NE), massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de espiga (MSE), teor de nitrogênio da parte aérea (TNPA), teor de nitrogênio na espiga (TNE), teor de nitrogênio nos grãos (TNG), número de grãos por espiga (GPE), massa de cem grãos (M100), produtividade de grãos (PG) e índice de severidade de *Bipolaris sorokiniana* (Bs), sob diferentes níveis de adubação nitrogenada e na presença (INOC) ou ausência (N INOC) de inoculação com *Azospirillum brasilense*.

Table 1. Height of plants (Alt), number of tillers (Nperf), number of spikes (Nesp), dry mass of aerial part (Mspa), dry spike mass (Mseps), nitrogen content of aerial part (Nitpa), Nitrogen content in the spike (Nitesp), nitrogen content in grains (Nitgr), number of grains per spike (Ngresp), mass of one hundred grains (Mcem), grain yield (Prod) and severity index of *Bipolaris sorokiniana*, under different levels of nitrogen fertilization and in the presence (inoc) or absence (n inoc) of inoculation with *Azospirillum brasilense*.

Características	Doses de N (kg ha ⁻¹)			
	0	40	80	120
AP (cm)				
INOC	65,4 a	67,0 b	76,5 a	66,7 a
N INOC	58,7 b	77,5 a	67,0 b	63,7 b
NP				
INOC	4,0 a	4,6 b	3,9 b	3,6 a
N INOC	2,7 b	4,9 a	4,2 a	3,3 b
NE				
INOC	3,5 a	4,0 b	3,7 a	3,3 a
N INOC	2,3 b	4,3 a	3,3 a	2,7 b
MSPA (g)				
INOC	32,67 a	36,75 b	34,56 a	32,83 a
N INOC	19,14 b	47,73 a	32,18 b	27,51 b
MSE(g)				
INOC	21,05 a	24,1 b	21,22 a	18,98 a
N INOC	10,86 b	28,09 a	20,99 a	11,86 b
TNPA (%)				
INOC	1,06 b	1,21 b	1,68 a	1,43 b
N INOC	1,25 a	1,37 a	1,57 b	1,98 a
TNE (%)				
INOC	2,18 a	2,4 a	2,15 b	2,0 b
N INOC	2,06 a	2,21 b	2,29 a	2,55 a
TNG (%)				
INOC	1,87 a	2,02 a	2,33 a	1,68 b
N INOC	1,61 b	1,77 b	1,9 b	2,12 a
GPE				
INOC	25,5 a	22,93 b	22,07 b	21,5 b
N INOC	23,3 b	24,9 a	23,3 a	22,83 a
M100 (g)				
INOC	3,48 b	3,72 a	3,89 a	3,86 a
N INOC	4,03 a	3,91 a	3,89 a	3,9 a
P (kg ha ⁻¹)				
INOC	2093,03 a	2106,33 b	2242,88 b	2388,27 a
N INOC	1839,43 b	2604,43 a	2570,21 a	2161,21 b
Bs				
INOC	4,8 a	5,23 b	6,2 a	6,77 a
N INOC	2,07 b	7,47 a	4,3 b	3,67 b

Médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não diferenciam estatisticamente (Tukey, p > 0.05).

A Figura 2 mostra que as respostas dos tratamentos na elevação nas doses de fertilizante nitrogenado são semelhantes, visto que há estímulo ao perfilhamento quando o mesmo é aplicado. A dose que proporcionou maior número de perfilhos foi a de 62 kg ha⁻¹ para o tratamento não inoculado e 43 kg ha⁻¹ para o tratamento inoculado.

Os mesmos resultados foram obtidos no número de espigas, acompanhando a tendência do perfilhamento. O tratamento inoculado obteve maior relação perfilho/espiga, ou seja, obteve mais perfilhos viáveis (que geraram espigas), exceto na dose de 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

A altura das plantas e o número de espigas, como esperado, refletiu no acúmulo de massa seca das mesmas (Figura 3), atingindo os maiores valores na dose de 62 kg ha⁻¹ de nitrogênio para parte aérea e 59 kg ha⁻¹ de nitrogênio para espigas nos tratamentos não inoculados, apesar da inoculação proporcionar maiores valores na maioria das doses (Tabela 1)

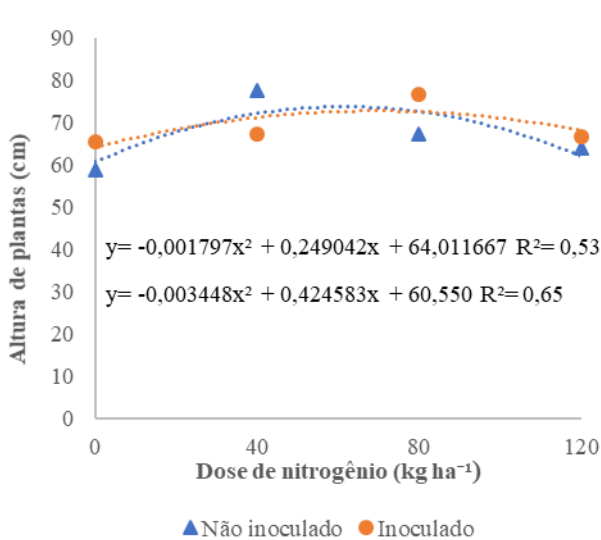


Figura 1. Altura de plantas de cevada em função da inoculação e adubação nitrogenada.
Figure 1. Height of barley plants as a function of inoculation and nitrogen fertilization.

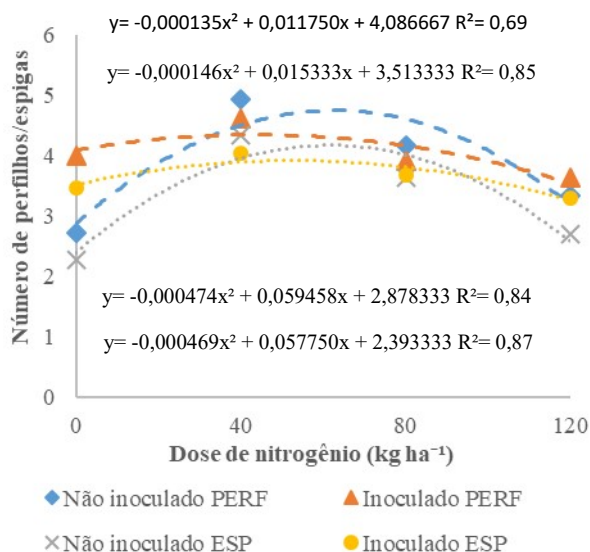


Figura 2. Número de perfilhos (PERF) e espigas (ESP) por planta em função da inoculação e adubação nitrogenada.
Figure 2. Number of tillers (PERF) and spikes (ESP) as a function of inoculation and nitrogen fertilization.

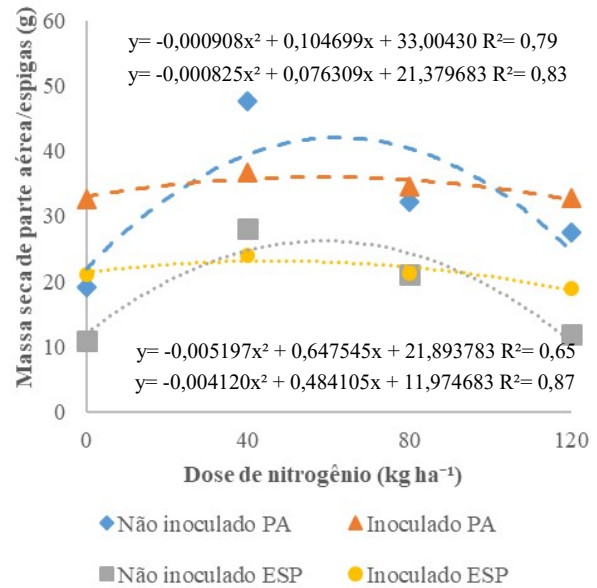


Figura 3. Massa seca (gramas) de parte aérea (PA) e espigas (ESP) em função da inoculação e adubação nitrogenada.
Figure 3. Dry mass of aerial part (PA) and spikes (ESP) as a function of inoculation and nitrogen fertilization.

Os tratamentos não inoculados apresentaram maior teor de N nos órgãos analisados (parte aérea, espigas e grãos) quanto maior a dose de nitrogênio aplicada (Figura 4). Para os tratamentos inoculados, houve resposta quadrática, com o maior teor de N na dose de 92, 43 e 57 kg ha⁻¹ de nitrogênio para parte aérea, espigas e grãos, respectivamente, e para os não inoculados, a dose máxima do nutriente proporcionou o maior teor de N nas partes analisadas.

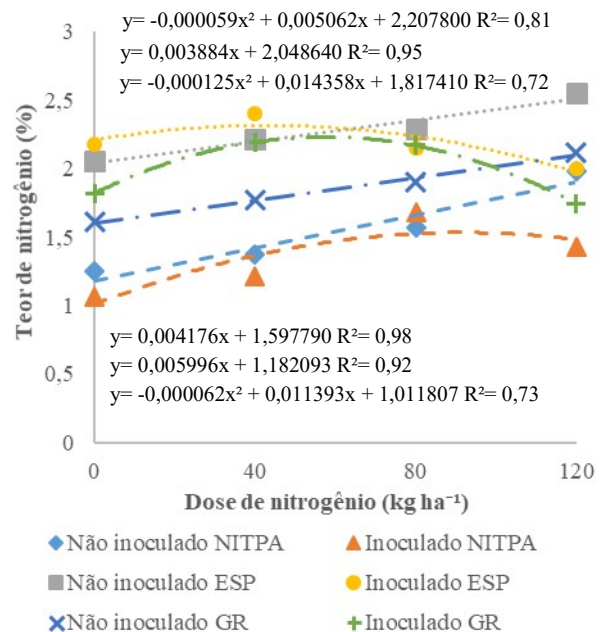


Figura 4. Teor de nitrogênio (%) de parte aérea (NITPA), espiga (ESP) e grãos (GR) em função da inoculação e adubação nitrogenada.
Figure 4. Nitrogen content of aerial part (NITPA), spike (ESP) and grains (GR) as a function of inoculation and nitrogen fertilization.

Os tratamentos que receberam inoculação apresentaram menor número de grãos por espiga em comparação aos

tratamentos não inoculados, exceto quando não aplicado o fertilizante nitrogenado. Esse menor número de grãos acabou refletindo na redução da produtividade nas doses de 40 e 80 kg ha⁻¹ de N, aliada ao menor número de espigas emitidas (Figura 5).

A massa de cem grãos, em geral não foi influenciada pela inoculação, porém na ausência de nitrogênio o tratamento inoculado apresentou menor valor, sendo que esse fato deve estar relacionado ao maior número de grãos gerados, o que levou a uma menor massa dos mesmos. Para o tratamento inoculado, o aumento na dose de nitrogênio forneceu acarretou em maior massa de cem grãos, enquanto o não inoculado não apresentou resposta a dose de N (Figura 6).

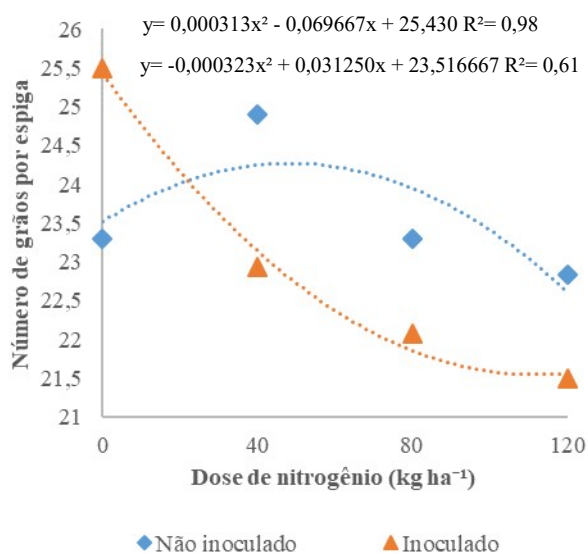


Figura 5. Número de grãos por espiga em função da inoculação e adubação nitrogenada.
Figure 5. Number of grains per spike as a function of inoculation and nitrogen fertilization.

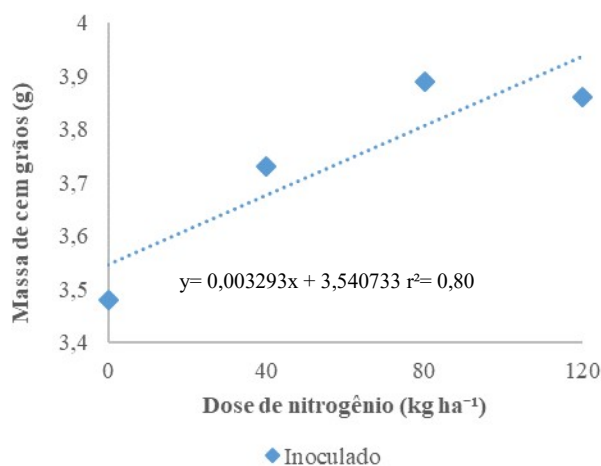


Figura 6. Massa de cem grãos em função da inoculação e adubação nitrogenada.
Figure 6. Mass of 100 grains as a function of inoculation and nitrogen fertilization.

A análise para a severidade da doença *Bipolaris sorokiniana* mostrou que a inoculação proporcionou maiores condições para o desenvolvimento da doença em doses altas

de nitrogênio e na sua ausência (Tabela 1). Ao analisar o comportamento da adubação nitrogenada na presença e na ausência de inoculação, verificou-se que na faixa de adubação intermediária (entre 40 e 80 kg ha⁻¹ de N), a inoculação proporcionou menor severidade da doença (Figura 8).

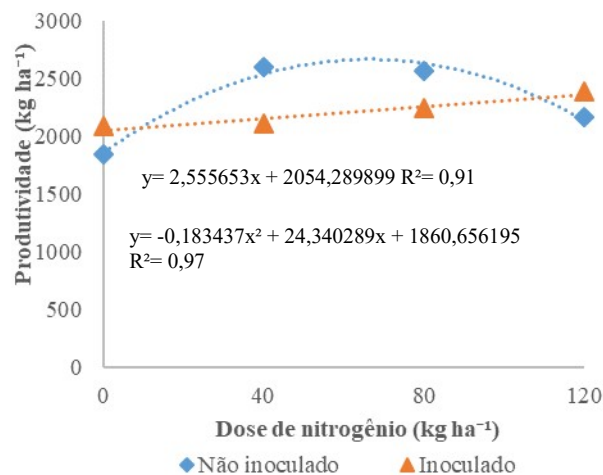


Figura 7. Produtividade de grãos em função da inoculação e adubação nitrogenada.
Figure 7. Grain yield as a function of inoculation and nitrogen fertilization.

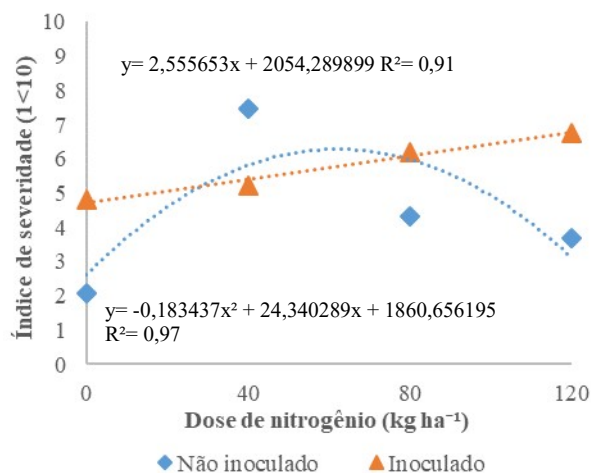


Figura 8. Índice de severidade de *B. sorokiniana* em função da inoculação e adubação nitrogenada.
Figure 8. *B. sorokiniana* severity index as a function of inoculation and nitrogen fertilization.

4. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para cevada (Tabela 1) confirmam um dos efeitos mais descritos do *A. brasilense*, a sua atuação na promoção do crescimento de plantas (MOREIRA et al., 2010; HUNGRIA, 2011). Silva et al. (2004) também verificaram um ganho em altura em plantas de cevada inoculadas. Esse efeito provavelmente está relacionado a produção de substâncias promotoras do crescimento pelas bactérias, tais como auxinas e giberelinas (BASHAN; DE-BASHAN, 2010). Outro indício desse efeito foi obtido por CASSÁN et al. (2009) quando observaram a produção de

poliaminas em plantas inoculadas, sendo que tais substâncias também podem exercer funções relacionados ao crescimento, além de mitigar efeitos de estresse, o que foi observado em seu trabalho.

É possível que nas doses mais altas de nitrogênio (Tabela 1), a inoculação proporcione condições para o investimento em crescimento, pela capacidade do *A. brasilense* reduzir nitrato à amônio, pela enzima redutase do nitrato bacteriana (BASHAN; DE-BASHAN, 2010). Esse fato pode indicar que nas condições em que o trabalho foi executado, as plantas do tratamento não inoculado não conseguiram assimilar/aproveitar uma maior quantidade de N.

Uma maior produção de auxinas no tratamento inoculado pode explicar o menor perfilhamento (Figura 2), que em situação de adequada disponibilidade de nitrogênio, exerceu seu efeito de dominância apical e proporcionou maior tamanho aos colmos. Uma menor competição entre colmos pode determinar uma maior taxa de sobrevivência dos mesmos, resultando em maior número de espigas produzidas.

No tratamento inoculado, o maior número de perfilhos na ausência de adubação nitrogenada, provavelmente se deve ao efeito benéfico da interação entre bactéria e planta, possivelmente por maior disponibilidade de N provinda da fixação biológica (HUNGRIA, 2011), o que leva a um incremento no número de perfilhos gerados, como detectado por Wanser; Mundstock (2007), ou ainda resultante de um melhor aproveitamento de nutrientes causado pela maior área radicular proporcionada pela bactéria (SILVA et al., 2004; AMOOAGHAIE et al., 2002).

O motivo para que altas doses de nitrogênio proporcionassem uma diminuição em sua concentração nos órgãos analisados (Figura 4) pode se relacionar com o efeito já mencionado de alto investimento em biomassa radicular, particionando o nitrogênio absorvido e diminuindo seu acúmulo nos tecidos. Lana et al. (2012), observaram aumento no teor de nitrogênio foliar na cultura do milho conforme se utilizou a adubação nitrogenada, no entanto, houve redução nessa variável quando complementado pela inoculação. Outros estudos demonstraram que em algumas condições a inoculação pode levar a um aumento do teor de N em grãos de cevada (SANTA et al., 2008) e teor de proteínas em grãos de trigo em trigo (SOUZA et al., 2014), resultado semelhante ao observado nesse estudo (Tabela 1). A exceção foi a dose mais elevada do fertilizante nitrogenado, mas tal efeito era esperado pois refletiu o menor teor do nutriente nos demais órgãos.

O resultado para número de grãos por espiga (Figura 5) é semelhante ao obtido por Nunes et al. (2015) na cultura do trigo, quando a inoculação proporcionou menor número de grãos por espiga em solos com alta disponibilidade de nitrogênio. O oposto foi verificado por Piccinin et al. (2012) na mesma cultura, onde a inoculação aliada a adubação nitrogenada proporcionou maior número de grãos por espiga. Esses dados contraditórios revelam que as condições nutricionais e os materiais genéticos são fatores que devem ser considerados para o uso satisfatório da inoculação. Quanto ao efeito da adubação nitrogenada, resultado positivo foi obtido apenas no tratamento que não recebeu inoculação, alcançando maiores valores na dose de 48 kg ha⁻¹ de N, decrescendo nas doses maiores.

Na massa de cem grãos (Figura 6), o seu aumento foi relatado por Piccinin et al. (2012), quanto maior a dose de nitrogênio aplicado em trigo, e isso deve-se possivelmente

pela maior condição em acúmulo de fotoassimilados, que o autor sugere ser um dos principais responsáveis pelo enchimento dos grãos. Madani et al. (2010) também citaram que o processo de enchimento dos grãos pode ser realizado através da utilização das reservas do caule (em condições desfavoráveis à fotossíntese), mas que essa remobilização perde importância quando há uma taxa fotossintética satisfatória. Nota-se também que a partir da dose de 48 kg ha⁻¹ de N, a redução no número de grãos por espiga pode ter favorecido o ganho de massa dos grãos.

A resposta em produtividade (Figura 7) induzida pela adubação nitrogenada já era esperada, com resultados semelhantes obtidos por experimentos de outros autores. Wanser; Mundstock (2007) verificaram que a adubação nitrogenada interfere no acúmulo de matéria seca e nitrogênio nos colmos, influenciando na viabilidade de perfilhos e na produção de espigas por estes. Cai et al. (2011) estudaram o particionamento nas aplicações de nitrogênio em cobertura, e tal qual a resposta obtida aqui, doses altas diminuíram o rendimento de grãos. Isso pode estar relacionado com efeitos tóxicos de alta disponibilidade de nitrogênio (ARAÚJO et al., 2012), como também da utilização de carboidratos para assimilação do N em tecidos, demonstrando uma menor eficiência de processos fotossintéticos (CAI et al., 2011).

No tratamento inoculado, na ausência de adubação nitrogenada, a capacidade de fixação biológica de N pelo *A. brasilense* (Hungria et al., 2011) provavelmente permitiu melhor desenvolvimento da cultura comparado ao similar que não recebeu a inoculação (Tabela 1). Nas doses intermediárias, como discutido anteriormente, a ação da bactéria como promotora de crescimento pode ter sido primordial para a cultura não produzir de maneira semelhante aos tratamentos não inoculados correspondentes, pelo maior investimento em crescimento e menor disponibilidade de N (Figura 4) na matéria seca da parte aérea para formação e enchimento de grãos. Na maior dose testada, as plantas inoculadas conseguiram um aporte melhor de N, produzindo mais, até mesmo em comparação com o tratamento não inoculado.

Para o índice de severidade de *B. sorokiniana* (Figura 8), Silva et al. (2004) verificaram um efeito elicitivo do *Azospirillum brasilense* contra o mesmo patógeno, apenas em condições de laboratório.

5. CONCLUSÕES

O uso de *A. brasilense* aumenta a produtividade de grãos de cevada na ausência da adubação nitrogenada, mas não suplanta o ganho de produtividade apenas com o uso do N em doses superiores.

A maior produtividade grãos é obtida na dose 66 kg ha⁻¹ de N para o tratamento não inoculado e na dose máxima do fertilizante para o tratamento inoculado.

A severidade de *B. sorokiniana* foi favorecida com a aplicação de *A. brasilense* nas maiores doses de N.

A inoculação com *A. brasilense* é uma alternativa viável para aumentar a produtividade de grãos de cevada, caso se opte pelo cultivo sem fertilização mineral nitrogenada.

6. REFERÊNCIAS

AMOOAGHAIE, R.; MOSTAJERAN, A.; EMTIAZI, G. The effect of compatible and incompatible *Azospirillum brasilense* strains on proton efflux of

- intact wheat roots. **Plant and Soil**, v. 243, p. 155-160, 2002.
- ARAÚJO, J. L.; FAQUIN, V.; VIEIRA, N. M. B.; OLIVEIRA, M. V. C.; SOARES, A. A.; RODRIGUES, C. R.; MESQUITA, A. C. Crescimento e produção do arroz sob diferentes proporções de nitrato e de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 921-930, 2012.
- BASHAN, Y.; BUSTILLOS, J. J.; LEYVA, L. A.; HERNANDEZ, J. P.; BACILIO, M. Increase in auxiliary photoprotective photosynthetic pigments in wheat seedlings induced by *Azospirillum brasilense*. **Biology and Fertility of Soils**, v. 42, p. 279-285, 2006.
- BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth – A critical assessment. **Advances in Agronomy**, v. 108, 2010.
- CAI, J.; JIANG, D.; LIU, F.; DAI, T.; CAO, W. Effects of split nitrogen fertilization on post-anthesis photoassimilates, nitrogen use efficiency and grain yield in malting barley. **Soil and Plant Science**, v. 61, n. 5, p. 410-420, 2011.
- CASSÁN, F.; MAIALE, S.; MASCIARELLI, O.; VIDAL, A.; LUNA, V.; RUIZ, O. Cadaverine production by *Azospirillum brasilense* and its possible role in plant growth promotion and osmotic stress mitigation. **European Journal of Soil Biology**, v. 45, p. 12-19, 2009.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2016/2017**, Brasília: Conab, v. 4, n. 4, 2017. 160 p.
- CUNHA, F. F.; MAGALHÃES, F.F.; CASTRO, M. A. Métodos para estimativa da evapotranspiração de referência para Chapadão do Sul – MS. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 159-172, 2013.
- DE MORI, C.; MINELLA, E. **Aspectos econômicos e conjunturais da cultura da cevada**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. 28 p. Disponível em: <https://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do139.pdf>. Acesso em: 02 fev 2017.
- DORDAS, C. Dry matter, nitrogen and phosphorus accumulation, partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization and source-sink relations. **European Journal Agronomy**, v. 30, p. 129-139, 2009.
- GADELHA, R. G. F.; PRADO, J. P. S.; CAVALHEIRO, J. M. O. Farinha do bagaço de cevada em dietas para a engorda de camarões marinhos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 1, p. 170-174, 2010.
- GALVANI, F.; GAERTNER, E. **Adequação da metodologia Kjeldahl para determinação do nitrogênio total e proteína bruta**. EMBRAPA, 2006. (Circular Técnica 63)
- HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 36p. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/879471>> Acesso em: 28 jun. 2016.
- KAPPES, C.; ARF, O.; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P.; BEM, E. A. D.; PORTUGAL, J. R.; VILELA, R. G. Inoculação de sementes com bactéria diazotrófica e aplicação de nitrogênio em cobertura e foliar em milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 2, p. 527-538, 2013.
- LANA, M. C.; DARTORA, J.; MARINI, D.; HANN, J. E. Inoculation with *Azospirillum*, associated with nitrogen fertilization in maize. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 3, p. 399-405, 2012.
- LIMBERGER, V. M.; FRANCISCO, A.; BORGES, M. R.; ORO, T.; OGLIARI, P. J.; SCHEUER, P. M.; NORONHA, C. M. Extração de β -glucanas de cevada e caracterização parcial do amido residual. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 12, p. 2217-2223, 2011.
- MADANI, A.; RAD, A. S.; PAZOKI, A.; NOURMOHAMMADI, G.; ZARGHAMI, R. Wheat (*Triticum aestivum* L.) grain filling and dry matter partitioning responses to source:sink modifications under postanthesis water and nitrogen deficiency. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 145-151, 2010.
- MOREIRA, F. M. S.; SILVA, K.; ABRAHÃO, N.; CARVALHO, F. Bactérias diazotróficas associativas: diversidade, ecologia e potencial de aplicações. **Comunicata Scientiae**, v. 1, p. 74-99, 2010.
- NUNES, P. H. M. P.; AQUINO, L. A.; SANTOS, L. P. D.; XAVIER, F. O.; DEZORDI, L. R.; ASSUNÇÃO, N. S. Produtividade do trigo irrigado submetido à aplicação de nitrogênio e à inoculação com *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 59, p. 174-182, 2015.
- PICCININ, G. G.; BRACCINI, A. L.; DAN, L. G. M.; SCAPIM, C. A.; RICCI, T. T.; BAZO, G. L. Efficiency of seed inoculation with *Azospirillum brasilense* on agronomic characteristics and yield of wheat. **Industrial Crops and Products**, v. 43, p. 393-397, 2013.
- REDDY, P. M.; LADHA, J. K. Nitrogen fixation in rice: objectives and achievements. In: PEDROSA, F. O.; HUNGRIA, M.; YATES, G. M.; NEWTON, W. E. (Ed.). **Nitrogen fixation: from molecules to crop productivity**. Dordrecht: Kluwer, 2000. p. 641-646. (Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture, 38)
- SANCHES, F. M.; CUNHA, F. F.; SANTOS, O. F.; SOUZA, E. J.; LEAL, A. J. F.; THEODORO, G. F. Desempenho agrônomo de cultivares de cevada cervejeira sob diferentes lâminas de irrigação. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 1, p. 89-102, 2015.
- SANTA, O. R. D.; HERNÁNDEZ, R. F.; ALVAREZ, G. L. M.; JUNIOR, P. R.; SOCCOL, C. R. *Azospirillum* sp. inoculation in wheat, barley and oats seeds greenhouse experiments. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, n. 6, p. 843-850, 2004.
- SANTA, O. R. D.; SANTA, H. S. D.; FERNÁNDEZ, R.; MICHELENA, G.; JÚNIOR, P. R.; SOCCOL, C. R. Influência da inoculação de *Azospirillum* sp. em trigo, cevada e aveia. **Ambiência**, v. 4, n. 2, p. 197-207, 2008.
- SILVA, A. A. O.; FELIPE, T. A.; BACH, E. E. Ação do *Azospirillum brasilense* no desenvolvimento das

- plantas de trigo (variedade IAC-24) e cevada (variedade CEV 95033). **ConScientiae Saúde**, v. 3, p. 29-35, 2004.
- SOUZA, T. M.; PRANDO, A. M.; TAKABAYASHI, C. R.; SANTOS, J. S.; ISHIKAWA, A. T.; FELÍCIO, A. L. S. M.; ITANO, E. N.; KAWAMURA, O.; ZUCARELLI, C.; HIROOKA, E. Y. Composição química e desoxinivalenol em trigo da região Centro-Sul do Paraná: adubação nitrogenada em cobertura associada com *Azospirillum brasilense*. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 1, p. 327-342, 2014.
- WANSER, A. F.; MUNDSTOCK, C. M. Incremento da sobrevivência de colmos de cevada através da adubação nitrogenada no período de alongamento dos colmos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 6, p. 1577-1585, 2007.
- WOLFF, W. M.; FLOSS, E. L. Correlação entre teores de nitrogênio e de clorofila na folha como rendimento de grãos de aveia branca. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 6, p. 1510-1515, 2008.