

Pulverização dirigida no sulco e inoculação na semente de milho com *Azospirillum brasilense*

Directed spraying in furrow and corn seed inoculation with *Azospirillum brasilense*

Pulverización dirigida por surcos e inoculación de semillas de maíz con *Azospirillum brasilense*

Recebido: 24/02/2022 | Revisado: 04/03/2022 | Aceito: 08/03/2022 | Publicado: 16/03/2022

Marlo Markus Lopes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1294-758X>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: marlomarkus@hotmail.com

Luciano Zucuni Pes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4052-4979>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: lucianopes@politecnico.ufsm.br

Biane de Castro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9356-8003>
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Brasil
E-mail: biane-castro@uergs.edu.br

Lúcio de Paula Amaral

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8542-7078>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: amaralufsm@gmail.com

Bruna San Martin Rolim Ribeiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9643-7749>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: brunasanmartinrolim@gmail.com

Simone Puntel

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0404-3334>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: simonepuntel16@gmail.com

Kelly Cristina Camargo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6779-2271>
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Brasil
E-mail: kelly-camargo@uergs.edu.br

Resumo

Existe um interesse crescente pelo uso de inoculantes contendo bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), as quais também podem incrementar a produtividade das culturas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de diferentes métodos de inoculação de BPCP *Azospirillum brasilense* no desenvolvimento vegetativo e na produção de grãos da cultura do milho em diferentes zonas de relevo. O experimento foi conduzido em Cruzeiro do Sul (RS), com a semeadura mecanizada do híbrido Velox TL[®], de ciclo superprecoce. O delineamento experimental foi esquema fatorial 3x3, considerando três métodos de inoculação (inoculação de sementes, aplicação dirigida no sulco e sem inoculação) e três distintas zonas de relevo (alta, média e baixa altitude), com três repetições. Foram determinadas as variáveis altura de planta, diâmetro do colmo, número de grãos por planta e matéria seca. Os dados foram submetidos ao teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro. Não houve interação entre os métodos de inoculação e as zonas de relevo. A inoculação de *A. brasilense*, tanto no tratamento de aplicação dirigida no sulco, como na inoculação direta das sementes de milho, proporcionou apenas maior altura final das plantas, quando comparadas ao manejo sem a utilização de inoculação das sementes. A variável diâmetro do colmo foi influenciada pela posição no relevo, demonstrando a importância da agricultura de precisão ao não considerar as áreas como sendo homogêneas.

Palavras-chave: Fixação biológica; Nitrogênio; *Zea mays*.

Abstract

There is growing interest in the use of inoculants containing plant growth promoting bacteria, which can also increase crop yields. The objective of this work was to evaluate the influence of different inoculation methods of *Azospirillum brasilense* on the vegetative development and grain production of corn in different relief zones. The experiment was conducted in Cruzeiro do Sul (RS), with mechanized sowing of the hybrid Velox TL[®], super-early cycle. The experimental design was a 3x3 factorial scheme, considering three inoculation methods (seed inoculation, furrow-directed application, and no inoculation) and three distinct relief zones (high, medium, and low altitude), with three

replications. The variables plant height, stem diameter, number of grains per plant and dry matter were determined. Data were submitted to the Tukey test, at 5% probability of error. There was no interaction between inoculation methods and relief zones. The inoculation of *A. brasilense* in both treatments provided only greater final height of the plants when compared to the management without the use of seed inoculation. The stem diameter variable was influenced by the position in the relief, demonstrating the importance of precision agriculture by not considering the areas as homogeneous.

Keywords: Biological fixation; Nitrogen; *Zea mays*.

Resumen

Existe un interés creciente en el uso de inoculantes que contienen bacterias promotoras del crecimiento de las plantas, que también pueden aumentar el rendimiento de los cultivos. El objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia de diferentes métodos de inoculación de *Azospirillum brasilense* en el desarrollo vegetativo y producción de granos de maíz en diferentes zonas de relieve. El experimento se realizó en Cruzeiro do Sul (RS), con siembra mecanizada del híbrido Velox TL[®], ciclo súper temprano. El diseño experimental fue un esquema factorial 3x3, considerando tres métodos de inoculación (inoculación de semillas, aplicación por surco y no inoculación) y tres zonas de relieve distintas (alta, media y baja altitud), con tres repeticiones. Se determinaron las variables altura de la planta, diámetro del tallo, número de granos por planta y materia seca. Los datos se sometieron a la prueba de Tukey, con 5% de probabilidad de error. No hubo interacción entre los métodos de inoculación y las zonas de relieve. La inoculación de *A. brasilense*, tanto en el tratamiento de aplicación dirigida en surco, como en la inoculación directa de semillas de maíz, proporcionó solo mayor altura final de las plantas, en comparación con el manejo sin el uso de inoculación de semillas. La variable diámetro del tallo fue influenciada por la posición en el relieve, demostrando la importancia de la agricultura de precisión al no considerar las áreas como homogéneas.

Palabras clave: Fijación biológica; Nitrógeno; *Zea mays*.

1. Introdução

A adubação nitrogenada assume papel de grande importância para o crescimento e produção das culturas, sendo o nitrogênio o elemento absorvido em maior quantidade (Taiz et al., 2017). No entanto, o manejo do nitrogênio em sistemas agrícolas deve considerar os elevados riscos ambientais, uma vez que este nutriente está sujeito a perdas por erosão, lixiviação e volatilização (Rockenbach et al., 2017). Além disso, existe uma dificuldade de avaliar sua disponibilidade no solo, devido às múltiplas reações a que está sujeito, mediadas por micro-organismos e afetadas por fatores climáticos (RISCH et al., 2019).

Devido ao alto custo dos fertilizantes químicos e a uma conscientização em prol de uma agricultura sustentável e menos poluente, existe um interesse crescente pelo uso de inoculantes contendo bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), as quais também podem incrementar a produtividade (Spolaor et al., 2016; Lobo et al., 2019). As BPCP *Azospirillum brasilense* podem colonizar plantas da família Poaceae, a exemplo do milho (*Zea mays* L.), representando uma estratégia economicamente viável pela redução da aplicação de insumos e pelos benefícios ambientais associados à redução do uso de fertilizantes (Rockenbach et al., 2017).

Quadros et al. (2014) verificaram que a inoculação de *A. brasilense* desempenhou respostas variadas nas características agrônomicas dependendo da interação das BPCP com o híbrido de milho testado. Foi mensurado maior teor relativo de clorofila e rendimento da matéria seca da parte aérea dos híbridos AS 1575[®] e SHS 5050[®], peso de 1000 grãos do híbrido P32R48[®] e estatura de planta do híbrido AS 1575[®] em decorrência dessa interação. As BPCP inoculadas permaneceram em quantidade viável nas raízes até o final do ciclo dos híbridos, demonstrando também uma boa sobrevivência pós-inoculação.

Diversas pesquisas têm sido realizadas avaliando formulações, tecnologias de inoculação e interação entre as plantas e as BPCP (Lobo et al., 2019; Ramakrishna et al., 2019; Artyszak & Gozdowski, 2020; Artyszak & Gozdowski, 2021), porém mais estudos são necessários para avaliar a viabilidade das estratégias de inoculação em grande escala a campo. Tendo em vista que atender a época recomendada para a realização da semeadura consiste em um fator determinante na expressão do rendimento da cultura, a disponibilidade de máquinas que efetuam a inoculação durante este tipo de operação pode ser estratégica para a atividade agrícola, pois a mão de obra é cada vez mais escassa e onerosa. Além de otimizar o processo, a

inoculação mecanizada deve proporcionar um acondicionamento favorável à manutenção da viabilidade dos bioinsumos (Rockenbach et al., 2017).

Tendo em vista que a agricultura de precisão pode contribuir também para os trabalhos de microbiologia agrícola, o presente estudo teve como objetivo avaliar a inoculação manual das sementes e mecanizada dirigida no sulco das BPCP *Azospirillum brasilense*, em diferentes zonas de relevo, no desempenho agrônômico do milho híbrido Velox TL®.

2. Metodologia

O experimento foi conduzido no município de Cruzeiro do Sul, RS, Brasil (latitude: 29°29' S, longitude: 52°07' W e altitude média: 94m), em uma lavoura comercial de milho. O clima da região é classificado como Cfa, subtropical úmido, com verões quentes, sem estação seca definida, de acordo com a classificação de Köppen (Kuinchner & Buriol, 2001). O solo predominante na área experimental é classificado como Chernossolo Háptico Órtico típico (Unidade de Mapeamento Vila) (Streck et al., 2008).

A semeadura do milho híbrido Velox TL® foi realizada em sistema de semeadura direta, sendo o espaçamento entre linhas de 0,80 m e o espaçamento entre plantas de 0,21 m, com densidade de 75.000 plantas ha⁻¹. O experimento consistiu em três tratamentos: inoculação manual na semente e aplicação de nitrogênio (T1); inoculação dirigida no sulco e aplicação de nitrogênio (T2); e a testemunha, sem inoculação e com aplicação de nitrogênio (T3). O inoculante empregado foi um produto comercial, composto pelas cepas Ab-V5 e Ab-V6 da bactéria *Azospirillum brasilense*, na concentração de 5x10⁸ UFC mL⁻¹.

Para a inoculação com *A. brasilense* nas sementes, aplicou-se 100 mL ha⁻¹ do inoculante, distribuído de maneira uniforme nas sementes, que foram semeadas no mesmo dia. Para a inoculação dirigida no sulco foi utilizado o pulverizador de inoculação da H3M250®, com tanque de capacidade de 250 L, com dose de 400 mL ha⁻¹. A adubação da área foi realizada de acordo com as recomendações do Manual de Adubação e Calagem para o RS e SC (SBCS, 2016). Foi aplicado 280 kg ha⁻¹ da fórmula comercial NPK 9-25-15 na base e, em cobertura, foi realizada a aplicação de 350 kg ha⁻¹ de ureia no estágio fenológico de 6 folhas expandidas.

As coordenadas geográficas foram obtidas através do aplicativo CR Campeiro - C7 GPS Dados®, sendo classificadas as zonas de relevo em: Z1, considerada a zona de maior altitude, com valores entre 87 e 102 m (média de 95,4 m); Z2, considerada a zona de média altitude, com valores entre 86 e 101 m (média de 93,8 m) e Z3, considerada a zona de baixa altitude, com valores de 82 a 98 m (média de 91,7 m).

Em cada ponto de amostragem foram determinadas as variáveis altura de planta, diâmetro do colmo, número de grãos por planta e matéria seca da parte aérea e do sistema radicular. A altura da planta foi medida da inserção do pendão até a superfície do solo e o diâmetro do colmo foi determinado a 10 cm da superfície do solo, com auxílio de uma trena.

Para a determinação da matéria seca, as amostras de material vegetal foram secadas em estufa, com temperatura controlada a 68°C, até haver a estabilização do peso das amostras. A matéria seca foi determinada em balança eletrônica.

O delineamento experimental foi do tipo fatorial (3x3), com dois fatores, sendo o fator 1 a forma de inoculação, com três níveis (T1 - aplicação manual na semente, T2 - aplicação mecanizada dirigida no sulco e T3 - testemunha) e o fator 2 as zonas de relevo, também com três níveis (Z1 - zona de maior altitude, Z2 - zona de média altitude e Z3 - zona de baixa altitude). Foram realizadas três repetições por tratamento.

As análises estatísticas foram realizadas através da análise de variância (ANOVA), com aplicação do teste F e, no caso de diferença significativa, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro. O software estatístico utilizado foi o Assistat 7.7 Beta® (Silva & Azevedo, 2016).

Precedendo a ANOVA, testes de homogeneidade de variâncias e normalidade dos dados foram realizados, sendo, respectivamente, o teste de Bartlett (χ^2) e Shapiro-Wilk (W), ambos com nível de significância de 5%, para altura, diâmetro do

colmo e matéria seca das plantas, já para o número de grãos foi utilizada a estatística não paramétrica, com o teste de Kruskal-Wallis (Schneider & Souza, 2009).

3. Resultados e Discussão

A forma de inoculação (Fator 1) apresentou significância, ao nível de 1% de probabilidade de erro. Já a diferença na altura das plantas entre as zonas de relevo (Fator 2) não apresentou significância ($p < 0,05$), bem como não foi observada interação entre os fatores ($p < 0,05$). Pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), as formas de inoculação (manual na semente e a mecanizada dirigida no sulco) apresentaram resultados estatisticamente iguais, mas superiores a não realização da prática da inoculação (testemunha) (Tabela 1).

Tabela 1 - Altura (cm) média de planta nas diferentes formas de inoculação e zonas de relevo.

Fator	Tratamento	Altura de planta (cm)
Fator 1	Inoculação direta na semente	236,05 a
	Inoculação dirigida no sulco	229,00 a
	Sem inoculação	207,55 b
Fator 2	Zona de maior altitude	228,28 a
	Zona de média altitude	225,61 a
	Zona de baixa altitude	218,72 a

Fator 1 = Forma de inoculação. Fator 2 = Zona de relevo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro, dentro do mesmo fator. Fonte: Autores (2016).

A semeadura mecanizada do híbrido Velox TL[®] de ciclo super precoce submetido às condições edafoclimáticas de Cruzeiro do Sul (RS) e mediante a inoculação das sementes com *A. brasilense*, tanto por meio do método de aplicação mecanizada dirigida no sulco, como pelo tratamento manual de sementes, propiciaram maior estatura das plantas na fase de maturação dos grãos do que nas plantas em que não se adotou a inoculação. Assim, pode-se inferir que tanto o genótipo cultivado, como a metodologia de aplicação do inoculante e as condições edafoclimáticas foram propícias ao crescimento das plantas em altura. Corroborando com o resultado obtido no presente experimento, Schaefer et al. (2019) verificaram o incremento na estatura de plantas com o híbrido Dekalb 240[®], de ciclo superprecoce, no município de Mata (RS), com a realização da inoculação das sementes com *A. brasilense*.

Camargo et al. (2022) também obtiveram maior altura de planta de milho híbrido da variedade 20A78PW da Morgan[®] com a inoculação de *A. brasilense* cepas ABV5 ABV6 2×10^8 UFC mL⁻¹. Quadros et al. (2014) inocularam sementes de diferentes genótipos de milho com *A. brasilense* e realizaram semeadura manual com saraquá em Eldorado do Sul (RS). Os autores obtiveram respostas diferenciadas de acordo com o híbrido testado. Naquelas condições, apenas o híbrido AS 1575 obteve incremento na estatura de planta quando inoculada. Houve o aumento do teor relativo de clorofila e o rendimento da matéria seca da parte aérea dos híbridos AS 1575[®] e SHS 5050[®] e do peso de 1000 grãos do híbrido P32R48[®], sem que a estatura de plantas fosse influenciada pela inoculação.

O teste de Bartlett mostrou haver homogeneidade de variância, pois $\chi^2_{\text{calculado}}$ (7,70425) foi menor que o χ^2_{tabulado} (15,50731), sendo $p < 0,05$. O teste de normalidade de Shapiro-Wilk mostrou que os dados possuem normalidade ($W=0,92815$), já que o p-valor (0,06225) é maior que o nível de significância (0,05).

Não houve significância no Fator 1 (formas de inoculação) em relação diâmetro do colmo, bem como não houve interação entre os fatores ($p \geq 0,05$). Apenas foi verificada significância para o Fator 2 (zonas de relevo). Na Tabela 2 são apresentados os valores do diâmetro médio do colmo das plantas entre as diferentes formas de inoculação e zonas de relevo. Pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), na comparação entre as zonas de relevo, o diâmetro do colmo foi estatisticamente superior na zona de média altitude, em comparação à zona de baixa altitude. Os resultados indicam que a inoculação de *A. brasilense*, independentemente do método de aplicação, não interferiu no diâmetro médio final do colmo das plantas de milho híbrido Velox TL®.

Tabela 2 - Diâmetro médio do colmo (cm) entre as diferentes formas de inoculação e zonas de relevo.

Fator	Tratamento	Diâmetro do colmo (cm)
Fator 1	Inoculação direta na semente	8,17 a
	Inoculação dirigida no sulco	8,42 a
	Sem inoculação	7,84 a
Fator 2	Zona de maior altitude	8,17 ab
	Zona de média altitude	8,58 a
	Zona de baixa altitude	7,69 b

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro, dentro do mesmo fator. Fonte: Autores (2016).

Brum *et al.* (2016) encontraram diferença significativa entre os tratamentos com e sem inoculação das sementes de milho, no diâmetro do colmo, em sistema de integração lavoura-pecuária. As bactérias diazotróficas *Azospirillum* spp. têm a capacidade de colonizar, além do sistema radicular, também o colmo das gramíneas (SIQUEIRA & FRANCO, 1988). Mendonça *et al.* (2006) observaram que estas bactérias se localizam mais frequentemente nas raízes, seguida pelos colmos e folhas de milho.

Nas condições experimentais do presente estudo possivelmente não tenha ocorrido a colonização dos colmos das plantas em níveis suficientes para alterar significativamente a morfologia. O mesmo resultado foi observado por Camargo *et al.* (2022) na produção de milho para silagem inoculado com *A. brasilense*. No entanto, o diâmetro do colmo não está necessariamente relacionado à produção final de grãos, como evidenciado no trabalho de Nakao *et al.* (2014), em que as BPCP proporcionaram o aumento da produtividade de grãos sem, contudo, alterarem o diâmetro do colmo do sorgo granífero.

Para a variável número de grãos por planta, que não apresentaram dados com homogeneidade de variâncias e normalidade, foi realizado o teste de Kruskal-Wallis para comparação de média por postos (estatística não paramétrica). Em relação aos dados da matéria seca da parte aérea de planta, o teste de Bartlett mostrou haver homogeneidade de variância, pois $\chi^2_{\text{calculado}}$ (2,63518) foi menor do que o χ^2_{tabulado} (5,99148), sendo $p < 0,05$. O teste de normalidade de Shapiro-Wilk mostrou que os dados possuem normalidade ($W=0,90220$), já que p-valor (0,26501) é maior que o nível de significância (0,05). Já em relação aos dados da matéria seca das raízes de planta, o teste de Bartlett mostrou haver homogeneidade de variância, pois $\chi^2_{\text{calculado}}$ (0,40863) foi menor que o χ^2_{tabulado} (5,99148), sendo $p < 0,05$. O teste de normalidade de Shapiro-Wilk mostrou que os dados possuem normalidade ($W=0,93825$), já que p-valor (0,56358) é maior que o nível de significância (0,05).

Sobre os dados obtidos de matéria seca total da planta, o teste de Bartlett mostrou haver homogeneidade de variância, pois $\chi^2_{\text{calculado}}$ (1,00433) foi menor que o χ^2_{tabulado} (5,99148), sendo $p < 0,05$. O teste de normalidade de Shapiro-Wilk mostrou que os dados possuem normalidade ($W=0,90220$), já que p -valor (0,26501) é maior que o nível de significância (0,05).

Não foi encontrada diferença significativa entre os tratamentos para o número de grãos por planta, porém, foi observada uma tendência de se manter uma média dos postos mais elevados com a inoculação de *A. brasilense*. Pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), na comparação entre as diferentes formas de inoculação, não foi encontrada diferença estatística entre os tratamentos sobre a produção de matéria seca da parte aérea, das raízes e matéria seca total pelas plantas (Tabela 3).

Tabela 3 - Comparação de médias para o número de grãos por planta e matéria seca, nas diferentes formas de inoculação.

Número de grãos por planta ¹			
Tratamento	Soma dos postos	Média dos postos	
Inoculação direta na semente	153,5	17,0556 a	
Inoculação dirigida no sulco	137,0	15,2222 a	
Sem inoculação	87,5	9,7222 a	

Matéria seca ²			
Tratamento	Parte aérea	Raízes	Total
Inoculação direta na semente	311,64 a	101,60 a	413,24 a
Inoculação dirigida no sulco	309,72 a	108,49 a	418,20 a
Sem inoculação	229,74 a	93,70 a	323,44 a

¹ Médias dos postos seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo Teste de Kruskal-Wallis, ao nível de 5% de probabilidade de erro. ² As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. Fonte: Autores (2016).

Diferentemente, Silva Junior et al. (2021) verificaram que, mesmo com a redução de 15% na adubação nitrogenada em cobertura, as sementes inoculadas com a BPCP *A. brasilense* propiciaram a obtenção de plantas com maior altura, massa verde e seca da inflorescência. Segundo Lima et al. (2006), a produção de grãos da cultura do milho está relacionada diretamente a uma série de caracteres, os denominados componentes de produção. Compreendem esses componentes: prolificidade ou número de espigas por planta, peso médio do grão, número de fileiras de grãos na espiga e número de grãos por fileira, comprimento e profundidade de grãos, este último referindo-se à diferença entre os valores dos diâmetros da espiga e do sabugo.

Apesar de não haver diferença estatística entre os tratamentos, houve uma tendência de incremento na matéria seca total das plantas de milho inoculadas, tanto na parte aérea, como na raiz (Tabela 3). O mesmo ocorreu com o número de grãos por planta, que apesar de não ser detectada diferença significativa, os tratamentos com inoculação proporcionaram uma tendência de maior produção do que pelas plantas da testemunha (sem inoculação). Se estes dados fossem extrapolados para a produção de uma lavoura, possivelmente se tornariam economicamente importantes. Independente da forma de inoculação, os benefícios do uso de *A. brasilense* representam uma estratégia economicamente viável, além de trazer efeitos ambientais benéficos vinculados à possibilidade de redução do uso de fertilizantes nitrogenados (Hungria et al., 2015; Santos et al., 2019).

Corroborando com os resultados do presente experimento, Müller e colaboradores (2016) não encontraram diferença significativa para o número de grãos produzidos por espiga nos tratamentos com a utilização de inoculantes, apenas para os tratamentos com diferentes doses de nitrogênio inorgânico. Contardi et al. (2020) também não verificaram diferenças entre a inoculação das sementes e a inoculação realizada no sulco de plantio para os parâmetros avaliados de produtividade de grãos

de milho, massa de cem grãos e teor de nitrogênio nos grãos, os quais foram beneficiados pelo uso da bactéria. Os autores sugeriram ainda que outros trabalhos, com diferentes doses e momentos de aplicação de *Azospirillum* seriam indicadas para futuros trabalhos buscando melhorar a performance da cultura do milho.

4. Considerações Finais

A inoculação da bactéria diazotrófica *Azospirillum brasilense*, tanto na aplicação dirigida no sulco, como na aplicação direta nas sementes de milho, proporcionaram maior altura média final das plantas quando comparadas ao manejo tradicional, sem a utilização de inoculante. No entanto, não promoveram incremento na produção de matéria seca total e produção de grãos.

A variável diâmetro do colmo foi influenciada pela posição no relevo, demonstrando a importância da agricultura de precisão ao não considerar as áreas como sendo homogêneas.

Trabalhos de pesquisa de longo prazo sobre a inoculação manual de sementes e mecanizada no sulco de plantio do milho com *Azospirillum brasilense* proporcionarão melhor compreensão sobre as respostas e benefícios do emprego das BPCP, não apenas para a rentabilidade de produção, mas também acerca dos ganhos ambientais e possibilidades de uso em diferentes escalas de produção.

Referências

- Artyszak, A., & Gozdowski, D. (2020). The effect of growth activators and plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on the soil properties, root yield, and technological quality of sugar beet. *Agronomy*, 10(9), 1262.
- Artyszak, A., & Gozdowski, D. (2021). Application of Growth Activators and Plant Growth-Promoting Rhizobacteria as a Method of Introducing a “Farm to Fork” Strategy in Crop Management of Winter Oilseed. *Sustainability*, 13(6), 3562.
- Brum, M. D. S., Cunha, V. D. S., Stecca, J. D. L., Grando, L. F. T., & Martin, T. N. (2016). Components of corn crop yield under inoculation with *Azospirillum brasilense* using integrated crop-livestock system. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 38, 485-492.
- Camargo, K. C., Castro, B., Menezes, L. M., & Lopes, M. M. (2022). Inoculação com *Azospirillum brasilense* para a produção de milho para silagem. *Research, Society and Development*, 11(3), e6611326165-e6611326165.
- Contardi, L. M., Alvarez, R. D. C. F., de Lima, S. F., de Paiva Neto, V. B., da Silva Brasil, M., & Ramires, R. V. (2020). Manejo de nitrogênio e modo de aplicação de *Azospirillum brasilense* em milho. *Research, Society and Development*, 9(8), e553985791-e553985791.
- Hungria, M.; Nogueira, M. A.; Araujo, R. S. (2015). Soy bean seed co-inoculation with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense*: a new biotechnological tool to improve yield and sustainability. *American Journal of Plant Sciences*, 6, 811-817.
- Kuinchtner, A., & Buriol, G. A. (2001). Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. *Disciplinarium Scientia*, 2(1), 171-182.
- Lima, M. L. A.; Souza Jr, C. L.; Bento, D. A. V.; Souza, A. P.; & Carlini Garcia, L. A. (2006). Mapping QTL for grain yield and plant traits in a tropical maize population. *Molecular Breeding*, 17(3) 227-239.
- Lobo, C. B., Tomás, M. S. J., Viruel, E., Ferrero, M. A., & Lucca, M. E. (2019). Development of low-cost formulations of plant growth-promoting bacteria to be used as inoculants in beneficial agricultural technologies. *Microbiological research*, 219, 12-25., 219, 12-25.
- Mendonça, M. M. D., Urquiaga, S. S., & Reis, V. M. (2006). Variabilidade genotípica de milho para acumulação de nitrogênio e contribuição da fixação biológica de nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41, 1681-1685.
- Müller, T. M., Sandini, I. E., Rodrigues, J. D., Novakowski, J. H., Basi, S., & Kaminski, T. H. (2015). Combination of inoculation methods of *Azospirillum brasilense* with broadcasting of nitrogen fertilizer increases corn yield. *Ciência Rural*, 46, 210-215.
- Nakao, A., Souza, M. F., Centeno, D., & Rodrigues, R. A. (2014). Resposta do sorgo granífero à aplicação de diferentes doses e épocas de inoculante (*Azospirillum brasilense*) via foliar. *Enciclopédia Biosfera*, 10(18).
- Quadros, P. D. D., Roesch, L. F. W., Silva, P. R. F. D., Vieira, V. M., Roehrs, D. D., & Camargo, F. A. D. O. (2014). Desempenho agrônomo a campo de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum*. *Revista Ceres*, 61, 209-218.
- Ramakrishna, W., Yadav, R., & Li, K. (2019). Plant growth promoting bacteria in agriculture: two sides of a coin. *Applied Soil Ecology*, 138, 10-18.
- Risch, A. C., Zimmermann, S., Ochoa-Hueso, R., Schütz, M., Frey, B., Firm, J. L., & Moser, B. (2019). Soil net nitrogen mineralisation across global grasslands. *Nature communications*, 10(1), 1-10.

- Rockenbach, M. D. A., Alvarez, J. W. R., Fois, D. A. F., Tiecher, T., Karajallo, J. C., & Trinidad, S. A. (2017). Eficiência da aplicação de *Azospirillum brasilense* associado ao nitrogênio na cultura do milho. *Acta Iguazu*, 6(1), 33-44.
- Santos, M. S., Nogueira, M. A., & Hungria, M. (2019). Microbial inoculants: reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. *Amb Express*, 9(1), 1-22.
- Schaefer, P. E., Martin, T. N., Pizzani, R., & Schaefer, E. L. (2018). Inoculation with *Azospirillum brasilense* on corn yield and yield components in an integrated crop-livestock system. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 41.
- Schneider, P. R., Schneider, P. S. P., & Souza, C. D. (2009). Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal. *Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria*, 294.
- Silva, F. D. A. S., & de Azevedo, C. A. V. (2016). The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *African Journal of Agricultural Research*, 11(39), 3733-3740.
- Silva Junior, J. A. M., de Freitas, J. M., & Rezende, C. F. A. (2021). Produtividade do milho associado a inoculação com *Azospirillum brasilense* e diferentes doses de adubação nitrogenada. *Research, Society and Development*, 10(2), e42810212711-e42810212711.
- Siqueira, J. O.; & Franco, A. A. (1988). Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas. *MEC, ABEAS; ESAL, FAEPE*, 236.
- SBCS - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2016). Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Núcleo Regional Sul. Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. 376 p. ISBN: 978-85-66301-80-9.
- Spolaor, L. T., Gonçalves, L. S. A., Santos, O. J. A. P. D., Oliveira, A. L. M. D., Scapim, C. A., Bertagna, F. A. B., & Kuki, M. C. (2016). Bactérias promotoras de crescimento associadas a adubação nitrogenada de cobertura no desempenho agrônômico de milho pipoca. *Bragantia*, 75, 33-40.
- Streck, E. V., Kämpf, N., Dalmolin, R. S. D., Klant, E., Nascimento, P. D., Schneider, P., & Pinto, L. F. S. (2008). *Solos do Rio Grande do Sul* (p. 222p). UFRGS: EMATER/RS-ASCAR.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Artmed Editora.