

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CERRO LARGO
CURSO DE AGRONOMIA**

EDUARDO IVÃ LANGER

**INOCULAÇÃO DE *Azospirillum brasilense* NA CULTURA DO MILHO SOB
DIFERENTES DOSES DE ADUBAÇÃO NITROGENADA EM COBERTURA**

**CERRO LARGO
2022**

EDUARDO IVÃ LANGER

**INOCULAÇÃO DE *Azospirillum brasilense* NA CULTURA DO MILHO SOB
DIFERENTES DOSES DE ADUBAÇÃO NITROGENADA EM COBERTURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Agronomia da Universidade Federal da
Fronteira Sul (UFFS) como requisito parcial para
obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Renan Costa Beber Vieira

CERRO LARGO

2022

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Langer, Eduardo Ivã

INOCULAÇÃO DE *Azospirillum brasilense* NA CULTURA DO MILHO SOB DIFERENTES DOSES DE ADUBAÇÃO NITROGENADA EM COBERTURA / Eduardo Ivã Langer. -- 2022.

47 f.:il.

Orientador: Doutor Renan Costa Beber Vieira

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Bacharelado em Agronomia, Cerro Largo, RS, 2022.

1. Bactérias diazotróficas. 2. Zea mays. 3. Produtividade. I. Vieira, Renan Costa Beber, orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

EDUARDO IVÃ LANGER

**INOCULAÇÃO DE *Azospirillum brasilense* NA CULTURA DO MILHO SOB
DIFERENTES DOSES DE ADUBAÇÃO NITROGENADA EM COBERTURA**

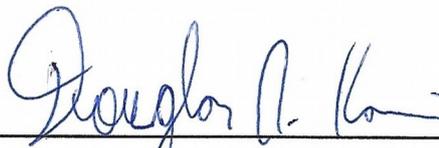
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Agronomia da Universidade Federal da
Fronteira Sul (UFFS) como requisito parcial para
obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 05/04/2022.

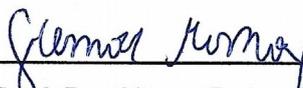
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Renan Costa Beber Vieira – UFFS
Orientador



Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser – UFFS
Avaliador



Prof. Dr. Gilmar Roberto Meinerz – UFFS
Avaliador

Dedico este trabalho aos meus pais e ao meu irmão, que sempre me incentivaram a seguir os estudos e realizar o sonho de me tornar engenheiro agrônomo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela oportunidade de poder concluir mais essa etapa em minha vida.

Agradeço aos meus pais Ivo e Dirce, assim como ao meu irmão Gustavo, pelo amor, carinho e apoio incondicional, não medindo esforços para realização desta conquista.

A toda minha família, em especial ao padrinho Mauri pelas inúmeras ajudas na condução do experimento a campo.

Agradeço ao Prof. Renan pela orientação, paciência, apoio, confiança e amizade construída ao longo da elaboração deste trabalho. Da mesma forma agradeço ao Prof. Douglas e ao Prof. Gilmar pelas contribuições na banca de avaliação.

Aos meus amigos de infância e aos amigos de faculdade, obrigado pela amizade.

Enfim, a todos que contribuíram de alguma forma, muito obrigado!

RESUMO

A produtividade da cultura do milho está fortemente relacionada ao suprimento adequado de nitrogênio. O uso de bactérias diazotróficas surge como uma alternativa para suprir parcialmente a demanda deste nutriente pelas plantas visando a redução do uso de fertilizantes minerais. O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da inoculação de *Azospirillum brasilense* em milho sob diferentes doses de adubação nitrogenada em cobertura. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 3 (presença ou ausência de inoculação e as doses de nitrogênio em cobertura de 0, 41 kg ha⁻¹ (50% da recomendação) e 82 kg ha⁻¹ (100% da recomendação)), totalizando 6 tratamentos e 4 repetições. Foram avaliados o número de folhas viáveis expandidas completas, a altura média de plantas, a altura média de inserção da espiga e a produtividade. A inoculação de *Azospirillum brasilense* aumentou a altura média de plantas, a altura média de inserção da espiga e a produtividade do milho. A adubação nitrogenada em cobertura correspondente a 100% da dose recomendada ocasionou os maiores valores para as variáveis número de folhas viáveis expandidas completas em R1 e altura média de inserção da espiga, enquanto a produtividade máxima estimada pelo modelo polinomial quadrático foi de 6727,59 kg ha⁻¹ na dose de nitrogênio equivalente a 57,8% da dose recomendada.

Palavras-chave: bactérias diazotróficas, *Zea mays*, produtividade.

ABSTRACT

Corn crop productivity is strongly related to adequate nitrogen supply. The use of diazotrophic bacteria appears as an alternative to partially supply the demand for this nutrient by plants in order to reduce the use of mineral fertilizers. The objective of the present study was to evaluate the effect of inoculation of *Azospirillum brasilense* in corn under different doses of nitrogen fertilization in topdressing. The experimental design used was randomized blocks in a 2 x 3 factorial scheme (presence or absence of inoculation and nitrogen coverage doses of 0, 41 kg ha⁻¹ (50% of the recommendation) and 82 kg ha⁻¹ (100% of the recommendation)), totaling 6 treatments and 4 repetitions. The number of viable complete expanded leaves, the average height of plants, the average height of ear insertion and productivity were evaluated. The inoculation of *Azospirillum brasilense* increased the average height of plants, the average height of ear insertion and corn productivity. Nitrogen fertilization corresponding to 100% of the recommended dose caused the highest values for the variables number of viable expanded leaves complete in R1 and average height of ear insertion, while the maximum productivity estimated by the quadratic polynomial model was 6727.59 kg ha⁻¹ at the nitrogen dose equivalent to 57.8% of the recommended dose.

Keywords: diazotrophic bacteria, *Zea mays*, productivity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Caracterização do experimento com a distribuição dos tratamentos.....	27
Figura 2 – Demarcação e semeadura do experimento.....	28
Figura 3 – Aspecto amarelado das folhas das plantas de milho em parcela sem adubação nitrogenada em cobertura.....	29
Figura 4 – Aspecto das espigas de milho dos tratamentos SI 0N (A) e CI 50N (B)..	30
Figura 5 – Precipitação pluvial (mm) ao longo da condução do experimento a campo.	30
Figura 6 – Análise de regressão do número de folhas viáveis expandidas completas em R1 (NFVEC R1) em função das diferentes doses de nitrogênio em cobertura....	33
Figura 7 – Análise de regressão da altura média da inserção da espiga (AIE) em função das diferentes doses de nitrogênio em cobertura.....	34
Figura 8 – Análise de regressão da produtividade (PROD) em função das diferentes doses de nitrogênio em cobertura.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Atributos químicos da camada 0-20 cm do solo da área do experimento.	26
Tabela 2 – Número de folhas viáveis expandidas completas entre V4 a V6 (NFVEC V4aV6), número de folhas viáveis expandidas completas em R1 (NFVEC R1), altura média de plantas (AP), altura média da inserção da espiga (AIE) e produtividade (PROD) em função do uso da inoculação.....	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	OBJETIVO.....	12
1.1.1	Objetivo geral.....	13
1.1.2	Objetivos específicos.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1	A CULTURA DO MILHO.....	14
2.2	NUTRIÇÃO E IMPORTÂNCIA DA ADUBAÇÃO.....	14
2.3	ADUBAÇÃO NITROGENADA NO MILHO.....	16
2.4	MICROORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO.....	18
2.5	<i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i>	20
2.5.1	Inoculantes.....	21
2.5.2	Resultados obtidos com a inoculação de <i>Azospirillum</i> em milho.....	22
3	METODOLOGIA.....	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
4.1	INOCULAÇÃO DE <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i>	31
4.2	DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA.....	33
5	CONCLUSÕES.....	36
	REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

A expressividade da área cultivada com milho (*Zea mays*) em nosso país denota a importância desta cultura em nosso meio. Considerando o total das três safras do ano agrícola 2020 – 2021, o Brasil foi responsável pela produção de 87,05 milhões de toneladas do grão em uma área cultivada de 19,93 milhões de hectares (CONAB, 2022).

Um dos motivos que justifica o fato da cultura atingir tais patamares, segundo Contini *et al.* (2019) se deve em razão da mesma compor diversos sistemas de cultivo, que vão desde a sucessão à soja (*Glycine max*) ao cultivo consorciado com gramíneas forrageiras em sistemas integrados de produção lavoura – pecuária, ou então em esquema de rotação de culturas em sistema plantio direto no sul do país.

Quanto à utilização, o milho é insumo para vários produtos, no entanto, de 70 a 80% da produção brasileira se destina exclusivamente a cadeia produtiva de suínos e aves (GARCIA *et al.*, 2006), onde é utilizado como principal fonte de energia na formulação de dietas chegando a participar com valores de até 80% da composição (CRUZ *et al.*, 2011). Para Garcia *et al.* (2006) mudanças nessas cadeias, incluindo também o setor pecuário, são de extrema importância como incentivadoras do processo produtivo desta cultura.

Em virtude de suas características fisiológicas, o milho tem elevado potencial produtivo, que já foi demonstrado em concursos de produtividade onde se atingiu valores superiores a 16 t ha⁻¹ (CRUZ *et al.*, 2010). No entanto, a nível nacional a produtividade média alcançada na safra de 2020 – 2021 foi de apenas 4.367 kg ha⁻¹ (CONAB, 2022). Conforme Barros *et al.* (2016, p. 7) esta baixa produtividade média é, “em parte devido ao manejo incorreto dos fertilizantes, dentre eles, os nitrogenados.”

O nitrogênio é principal nutriente mineral exigido em maior quantidade pelo milho, sendo também o nutriente de maior influência na produtividade de grãos (SILVA *et al.*, 2005). Desta forma, para evitar a limitação de crescimento e desenvolvimento das plantas geralmente sua aplicação ocorre em maior quantidade, em relação aos demais nutrientes, onerando significativo custo de produção a cultura (SOUZA *et al.*, 2012).

Visando aumentar os rendimentos na cultura do milho, e principalmente reduzir os custos de produção com adubação nitrogenada, avanços tecnológicos voltados a inoculação de *Azospirillum brasilense* a fim de suprir parte do nitrogênio requerido pela planta foram sendo desenvolvidos (MÜLLER, 2013). No Brasil a pesquisadora Johanna Döbereiner foi uma das pioneiras nos trabalhos, datados da década de 50, envolvendo bactérias diazotróficas e sua importância para fixação biológica de nitrogênio em gramíneas (MOREIRA *et al.*, 2010).

No entanto, apesar do Brasil ter longa tradição de pesquisas em fixação biológica de nitrogênio por *Azospirillum* até pouco tempo não se tinham inoculantes comerciais contendo essas bactérias devido a falta de resultados consistentes e conclusivos sobre a eficiência agrônômica destes produtos. Em 1996, porém, a Embrapa Soja em parceria com a Universidade Federal do Paraná conduziu testes selecionando estirpes onde a campo foram verificados incrementos no rendimento de grãos de 24 a 30% em milho e 13 a 18% em trigo, em relação ao controle não inoculado. Após esses resultados, o MAPA (Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento) disponibilizou as estirpes mais eficientes para as indústrias de inoculantes que optaram por produzi-los contendo Ab-V5 + Ab-V6 consideradas as mais eficazes (HUNGRIA, 2011).

Desde então, diversos autores se dedicaram a estudos envolvendo esses inoculantes, a exemplo de Mumbach *et al.* (2017) que relataram a possibilidade de reduzir pela metade a dose de nitrogênio mineral em cobertura, quando associado a inoculação de *Azospirillum brasilense*, sem afetar o crescimento e rendimento do milho. Já do lado oposto Repke *et al.* (2013) concluíram que a adição da prática de aplicação de *Azospirillum brasilense* via solução nas sementes de milho não substitui o uso de fertilizantes nitrogenados e nem permite a redução da dose.

Neste contexto, a realização deste trabalho se justifica pelo fato das pesquisas envolvendo a inoculação de *Azospirillum brasilense* na cultura do milho apresentarem grande variação quanto aos resultados obtidos, o que confere pouca informação e gera incerteza aos produtores em relação a utilização destas bactérias.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito da inoculação de *Azospirillum brasilense* em milho sob diferentes doses de adubação nitrogenada em cobertura.

1.1.2 Objetivos específicos

– Avaliar a influência das doses de nitrogênio em cobertura sob a combinação da inoculação com *Azospirillum brasilense*.

– Determinar se é possível reduzir a quantidade de nitrogênio aplicado via adubação por cobertura quando se realiza a inoculação com *Azospirillum brasilense*.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A CULTURA DO MILHO

Pertencente à família Poaceae gênero *Zea* espécie *mays* o milho é uma planta de caráter monoico, sendo essa característica conjuntamente a sua morfologia resultantes da supressão, condensação e multiplicação de várias partes da anatomia básica das gramíneas. Além das modificações dos aspectos reprodutivos e vegetativos ocasionados pelos fatores ambientais, a seleção natural e a domesticação produziram a planta anual, robusta e ereta, exímia produtora de grãos a qual conhecemos hoje (MAGALHÃES *et al.*, 2002).

A nível nacional, a região Centro – Sul do Brasil ostenta o posto de maior produtora do grão, onde na safra 2020 – 2021 foram produzidas 74,79 milhões de toneladas, o que representa aproximadamente 85% do total produzido no país (CONAB, 2022). Porém, apesar de ser um grande produtor o Brasil não se destaca na cadeia de exportação do milho, pois a maior parte da produção é destinada ao consumo no próprio mercado interno (CHIODI, 2006).

No mercado interno, a produção de milho em grão basicamente possui dois destinos. O primeiro deles corresponde ao milho produzido na própria propriedade rural, sendo destinado ao consumo dos animais em sua maior parte. Já o segundo destino se trata do milho comercializado no mercado consumidor, onde é majoritariamente direcionado para fábricas de rações e indústrias químicas (CRUZ, 2007). Esse consumo por parte dos animais, principalmente por meio das rações, faz menção a cadeia produtiva de suínos e aves, responsável por utilizar de 70 a 80% da produção total do grão do país (GARCIA *et al.*, 2006). Desta forma, segundo Garcia *et al.* (2006) mudanças ocorrentes nessas cadeias, incluindo também o setor pecuário, são de fundamental importância como incentivadoras do processo produtivo desta cultura.

2.2 NUTRIÇÃO E IMPORTÂNCIA DA ADUBAÇÃO

O avanço de tecnologias envolvendo melhorias na qualidade dos solos através de um manejo apropriado, onde se inclui a prática de rotação de culturas, utilização do plantio direto e um manejo de fertilidade adequado através da calagem, gessagem e adubação com macro e micronutrientes tem ocasionado aumentos significativos de produtividade na cultura do milho ao decorrer dos anos (COELHO, 2006).

“As quantidades de nutrientes que são extraídas pela cultura dependem da produtividade, da variedade, das condições do clima, fertilidade do solo, adubação e tratos culturais.” (BAHIA FILHO *et al.*, 1983, p. 7). Sendo observado em milho aumento linear da extração de nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio conforme se aumenta a produtividade, já em ordem de maior exigência, no entanto, tem-se nitrogênio e potássio como os principais, seguidos de cálcio, magnésio e fósforo (COELHO, 2006).

Segundo Bahia Filho *et al.* (1983) o milho pode ser cultivado em diferentes tipos de solo, porém, os autores atentam que os rendimentos mais elevados possivelmente serão obtidos em solos profundos e férteis, com boa drenagem e boa aeração. Bassani *et al.* (2008, p. 9) descreve um solo fértil como sendo aquele que “tem a capacidade de suprir às plantas nutrientes essenciais nas quantidades e proporções adequadas para o seu desenvolvimento, visando a obter altas produtividades”. Porém Luz; Ferreira; Bezerra (2002) alertam que essa maior produtividade também é acompanhada pela maior retirada de nutrientes do solo tanto via produto colhido como parte aérea da planta.

Existem no entanto, na planta de milho, diferentes taxas de translocação entre os tecidos, sendo o fósforo quase todo translocado para os grãos (77 a 86%) seguido do nitrogênio (70 a 77%), enxofre (60%) magnésio (47 a 69%) potássio (26 a 43%) e cálcio (3 a 7%). Isso demonstra que os restos culturais são responsáveis por devolver significativa parte dos nutrientes ao solo, principalmente potássio e cálcio (COELHO, 2006).

A diminuição da quantidade de nutrientes no solo, porém, não ocorre somente pela retirada do produto colhido, sendo também considerada um processo natural. Nesse processo natural se inclui a lixiviação, causada pela lavagem do perfil de solo através da água da chuva, pela erosão, onde ocorre o arraste de partículas, e pela imobilização por parte de organismos ou então pela fixação as partículas do solo. Desta forma, a fertilidade de um solo vai diminuindo após sucessivos cultivos devido

a diminuição dos teores principalmente de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, sendo necessária a intervenção do homem através do processo da calagem e da adubação (LUZ; FERREIRA; BEZERRA, 2002).

A adubação é a prática agrícola que consiste em adicionar ao solo a quantidade de nutrientes que preenche a lacuna entre o que a planta exige e o que o solo pode fornecer, acrescentando ainda a quantidade perdida (MALAVOLTA, 1989 *apud* LUZ; FERREIRA; BEZERRA 2002). Sendo também lembrado por estes autores que, antes de um manejo correto da adubação é imprescindível uma boa correção da acidez do solo, pois sem ela os fertilizantes não se farão eficientes.

2.3 ADUBAÇÃO NITROGENADA NO MILHO

“O nitrogênio é considerado um dos maiores fatores de produção responsáveis pelo aumento da produtividade e da proteína dos grãos de milho.” (YMADA; ABDALLA, 2000, p. 1). Como componente da molécula de clorofila, o suprimento adequado de nitrogênio a planta também é fundamental para a fotossíntese (REETZ, 2017), sendo que sua falta impacta diretamente na utilização da luz solar como fonte de energia para as demais funções essenciais da planta (INSTITUTO DA POTASSA & FOSFATO, 1998).

Conforme Olson e Kurtz (1982) dentre os fertilizantes, os nitrogenados apresentam o maior desafio ao se tratar de um manejo adequado, porém, em contrapartida o nitrogênio é o nutriente que mais recompensa casos de gestão apropriada.

Exigido durante todo o ciclo da planta, o nitrogênio é o elemento essencial absorvido em maior quantidade pelo milho. Seja para o nitrogênio presente no solo ou para o aplicado através de fertilizantes, sua absorção pela planta ocorre por meio das raízes através do contato íon-raiz possibilitado pelo fluxo de massa, podendo ser tanto na forma amoniacal quanto na forma nítrica, onde a última é a principal (DEPARIS, 2006).

Segundo Cabezas *et al.* (2000) a baixa eficiência de utilização dos fertilizantes nitrogenados pelas culturas é resultante de quatro principais processos que ocorrem de forma conjunta e direta, sendo eles a volatilização de amônia e a desnitrificação, o escoamento superficial, a lixiviação e a imobilização microbiana.

Isso torna difícil determinar a quantidade exata de nitrogênio aplicado na cultura do milho para obtenção da produção máxima econômica, pois além de sua disponibilidade estar relacionada a processos dinâmicos ocorrentes no solo eles variam conforme o teor de umidade, temperatura, tipo de fertilizante, ocorrência de plantas daninhas, pragas, e práticas de manejo da cultura (YMADA; ABDALLA, 2000).

De acordo com Pandolfo *et al.*, (2015) a adubação nitrogenada tanto em semeadura quanto em cobertura é necessária na cultura do milho, pois de forma geral os solos não possuem capacidade de suprir este nutriente em quantidades suficientes exigidas pelo milho durante seu desenvolvimento. Sendo assim, as doses de nitrogênio (semeadura + cobertura) indicadas para adubação da cultura do milho nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina são estimadas para expectativa de rendimento de grãos de aproximadamente 6 t ha⁻¹ e variam em função do teor de matéria orgânica do solo e da cultura antecedente, onde para a cultura antecedente é levada em consideração também a massa seca produzida por ela. No entanto, ainda são sugeridos alguns ajustes a dosagem quando a densidade de plantas for superior a 65.000 plantas ha⁻¹ ou então quando a expectativa de rendimento ultrapassa as 6 t ha⁻¹ (CQFS – RS/SC, 2016).

Em sistema plantio direto a sugestão é de que se aplique cerca de 20 a 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N) na semeadura, em caso da mesma ser realizada em área com resíduos de gramínea, já para semeadura sob áreas com resíduos de leguminosas essa dose pode ficar entre 10 a 20 kg ha⁻¹. Para o restante da dose recomendada é feita a aplicação por cobertura, essa aplicação normalmente é realizada quando a planta do milho se encontra entre o estágio fenológico V4 a V6, sendo que a antecipação (V3 a V5) apresenta bons resultados em lavouras sob sistema plantio direto recém implantado e em solos com baixa disponibilidade desse nutriente. Existe também a possibilidade de fracionamento da dose de cobertura, utilizada quando se considera a quantidade única elevada, nessas condições se recomenda a aplicação de metade da dose no estágio descrito anteriormente e a outra metade entre V8 a V9 (CQFS – RS/SC, 2016).

É importante lembrar também que existem vários tipos de fertilizantes nitrogenados, sendo apontado pela CQFS – RS/SC (2016) o sulfato de amônio e o nitrato de amônio como de igual ou superior efeito produtivo ao milho se comparado a ureia em aplicações superficiais sob condições menos favoráveis, porém, em

condições de umidade do solo adequada ou sob precipitação de 15 a 30 mm após a aplicação, os adubos nitrogenados apresentam eficiência semelhante onde deve-se preconizar a aquisição da fonte de menor custo unitário. No entanto, o principal fertilizante nitrogenado utilizado via adubação de cobertura na cultura do milho é a ureia. Devido sua alta concentração de nitrogênio a ureia se destaca sobre os demais fertilizantes, sendo também reconhecida pela alta solubilidade e facilidade de mistura com outras fontes (FRAZÃO *et al.*, 2014).

2.4 MICRORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO

A utilização de microrganismos como promotores do crescimento de plantas vem se apresentando como uma alternativa atrativa para vários processos biotecnológicos que visam além do aumento da disponibilidade de nutrientes no solo substituir parcial ou totalmente o uso de insumos químicos (GOMES *et al.*, 2016).

A comunidade microbiana atua no funcionamento das plantas influenciando sua fisiologia e desenvolvimento seja através de microrganismos benéficos ou patogênicos (MENDES; GARBEVA; RAAIJMAKERS, 2013). Entre a diversidade de microrganismos presentes no solo os mais benéficos são os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e as bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) (MIRANSARI, 2014).

A forma com que os microrganismos atuam na promoção de crescimento das plantas pode ocorrer de diferentes maneiras, seja na mobilização e transporte de nutrientes para planta através da fixação de nitrogênio, solubilização e mineralização de fósforo, aumento da área de absorção das raízes, e até mesmo na produção de fitormônios e compostos orgânicos voláteis que estimulam o crescimento e a proteção contra patógenos (GOMES *et al.*, 2016).

Segundo Lima (2020) FMA se associam a rizosfera das plantas e incrementam a absorção de fósforo. Porém o custo envolvido no registro de estirpes para produção de inoculantes perante o MAPA, aliado ao fato de serem organismos biotróficos obrigatórios dificulta a produção de inóculos em larga escala (SOUZA; SCHLEMPER; STÜRMER, 2017). Desta forma, existe no Brasil somente um inoculante a base de FMA no mercado, sendo o mesmo composto por propágulos de *Rhizophagus intraradices* (STOFFEL, 2019). Este inoculante em avaliações a

campo, realizadas em diferentes estados brasileiros, aumentou em média 54% o rendimento de grãos na cultura do milho e 25% na cultura da soja, comprovando desta forma a viabilidade de sua utilização (STOFFEL *et al.*, 2019).

Quanto as BPCPs de acordo com Hungria *et al.* (2010) podem ser citados os gêneros *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Bacillus*, *Bradyrhizobium*, *Rhizobium*, *Gluconacetobacter*, *Herbaspirillum* e *Azospirillum*.

Na cultura da soja o exemplo clássico é a utilização do gênero *Bradyrhizobium* para fixação biológica de nitrogênio (FBN). Graças a essa bactéria nodulífera é possível substituir totalmente a necessidade do uso de adubos nitrogenados, pois a mesma, quando associada as raízes da soja, consegue converter o nitrogênio atmosférico em compostos nitrogenados em quantidades de até 300 kg ha⁻¹ de N, que são utilizados pela planta. Isso representa significativa economia ao produtor uma vez que o inoculante que fornece esta bactéria dificilmente ultrapassa o valor de R\$ 8,00 por hectare (MENDES; JUNIOR; CUNHA, 2010).

Ainda sobre a soja, como no Brasil não ocorre rizóbio nativo capaz de nodulá-la, para áreas de primeiro cultivo se faz obrigatória sua inoculação (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2001). O processo de simbiose inicia com a infecção do *Bradyrhizobium* através dos pelos radiculares da planta formando os nódulos. Dentro dos nódulos, através de uma enzima chamada desidrogenase ocorre a quebra da tripla ligação do nitrogênio atmosférico e provocando sua redução até amônia. Após este processo serão incorporados os íons H⁺, abundantes nas células das bactérias, ocorrendo a transformação em íons amônio, que serão distribuídos e incorporados pela soja na forma de nitrogênio orgânico (HUNGRIA; VARGAS; CAMPO, 1997).

A simbiose, no entanto, é praticamente restrita a leguminosas. Em gramíneas como milho, trigo e cana-de-açúcar existem outras espécies capazes de fixar o nitrogênio atmosférico e fornecê-lo a planta. Nessas plantas não ocorre a formação de nódulos e as quantidades de nitrogênio fixado são menores, sendo importante a utilização conjunta de adubos nitrogenados nestes cultivos (MENDES; REIS JUNIOR; CUNHA, 2010).

Ainda segundo Mendes; Reis Junior e Cunha (2010) as BPCPs capazes de realizar a FBN em gramíneas podem se encontrar tanto na região rizosférica, quanto na superfície das raízes ou até mesmo dentro dos tecidos de raízes, colmos e folhas no caso de representantes endófitos. Já aos organismos responsáveis por promover

o crescimento vegetal sem atuar endofiticamente, ou seja, sem adentrar nos tecidos das plantas se denomina como rizobactérias promotoras de crescimento vegetal (OLIVEIRA; URQUIAGA; BALDANI, 2003).

Devido capacidade de FBN as BPCPs também são comumente denominadas como “bactérias diazotróficas” (INAGAKI, 2014). Em gramíneas esse processo pode ser realizado por inúmeros gêneros, porém *Azospirillum* é um dos mais estudados (MELO, 2012).

No Brasil a pesquisadora Johanna Döbereiner foi uma das pioneiras nos trabalhos, datados da década de 50, envolvendo bactérias diazotróficas e sua importância para FBN em gramíneas (MOREIRA *et al.*, 2010). Porém, o primeiro inoculante composto por estirpes de *Azospirillum* só teve sua eficiência agrônômica confirmada em 2004 e sua comercialização em 2009. Após isso vários foram os resultados publicados na literatura referentes a sua inoculação, principalmente nas culturas do milho, trigo e arroz, indicando que, para expectativas de baixo a médio rendimento, ao se realizar a inoculação, pode ser utilizada somente a adubação nitrogenada na base no momento da semeadura acrescido ou não de 50% da dose de N em cobertura, enquanto que para altos rendimentos, pode ser utilizado 75% da dose de N em cobertura, associado a inoculação, resultando em rendimento igual ou superior a 100% da dose sem a inoculação (HUNGRIA, 2016).

2.5 AZOSPIRILLUM BRASILENSE

Constituído por bactérias promotoras de crescimento de vida livre, o gênero *Azospirillum* foi isolado pela primeira vez em 1925 por Beijerinck (GODOY, 2017). Essas bactérias diazotróficas, aeróbias, gram negativas, microaerofílicas, endofíticas facultativas (APOLONIO, 2018), curvas, móveis e de várias origens geográficas (HUERGO, 2006) estão presentes em todos os tipos de solos, apresentando dimensões de um micrômetro de diâmetro e 2,1 a 3,8 micrômetros de comprimento (SILVA; FELIPE; BACH, 2004).

Bactérias do gênero *Azospirillum* podem estimular o crescimento de plantas por meio tanto da produção de fitormônios, vitaminas e sideróforos, quanto pelo aumento da absorção de nutrientes, resistência a estresses, biocontrole de patógenos e organismos nocivos, redução de nitrato e fixação de nitrogênio

(MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Sendo o principal hormônio produzido uma auxina, o ácido 3-indolacético (AIA), responsável pela indução do alongamento e divisão celular na planta (BESEN *et al.*, 2019).

A espécie *Azospirillum brasilense* se destaca devido sua ampla distribuição em solos tropicais e subtropicais bem como pela capacidade de promover o crescimento vegetal (APOLONIO, 2018). Porém conforme Eckert *et al.* (2001) seu desenvolvimento é favorecido em temperaturas entre 28 e 41°C.

Segundo Vogt *et al.* (2014) o nitrogênio fixado por *Azospirillum brasilense* torna-se disponível a planta através da excreção direta ou então pela mineralização de bactérias mortas, não havendo relação de simbiose. O fato de não ocorrer a simbiose é um dos motivos pelo qual não se deve comparar a eficiência destas bactérias associativas a das simbioses de bactérias nodulíferas com leguminosas, uma vez que a simbiose se trata de um processo muito mais evoluído (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Todavia, segundo Müller (2013) o estudo da inoculação de *Azospirillum brasilense* a fim de suprir parte do nitrogênio requerido pela cultura é importante. Isso tornaria possível a diminuição de custos de produção a partir da possível redução do uso de fertilizantes químicos evitando ainda os problemas de contaminação ocasionados pelo uso inadequado dos mesmos (APOLONIO, 2018), uma vez que o nitrogênio é o nutriente mais caro e mais exigido pela cultura do milho (MACHADO; SODEK; FERNANDES, 2001).

2.5.1 Inoculantes

Segundo Godoy (2017) inoculantes são produtos formulados que contém bactérias ou então outros microrganismos que atuam de forma benéfica no desenvolvimento de plantas, já a inoculação é o processo pelo qual ocorre a incorporação dessas substâncias a um organismo que geralmente são as sementes.

Na cultura do milho o uso de inoculantes é cada vez mais valorizado especialmente devido à capacidade de fixação biológica de nitrogênio (QUADROS *et al.*, 2014). Dentre as estirpes de *Azospirillum brasilense*, Ab-V5 e Ab-V6 vem sendo as mais utilizadas, onde os inoculantes líquidos são os preferidos pelos agricultores devido ao seu fácil manuseio (SANTOS *et al.*, 2016).

2.5.2 Resultados obtidos com a inoculação de *Azospirillum* em milho

A inoculação de *Azospirillum brasilense* na cultura do milho tem sido estudada por diversos autores. Os experimentos conduzidos a campo demonstram grande variação quanto aos resultados obtidos, ocasionando certa incerteza por parte da utilização deste produto. Na literatura científica são descritos tanto resultados positivos da inoculação, quanto casos em que a mesma não promoveu nenhum efeito, sendo por vezes apresentados até resultados negativos.

Dentre os resultados positivos, tem-se o estudo conduzido por Szilagyi-Zecchin; Marriel; Silva (2017) que teve por objetivo avaliar a eficiência de inoculantes formulados com *Azospirillum brasilense* na cultura do milho cultivado com diferentes doses de nitrogênio em cobertura. Nele os autores relataram resultados médios de produtividade maiores em tratamentos onde se utilizou o uso de 50% da dose de nitrogênio combinado a inoculação, em comparação a plantas não inoculadas, igualando-se ao resultado obtido com o uso de 100% da dose de nitrogênio sem inoculação.

Nesta mesma linha de resposta se encontram os resultados de Mumbach *et al.* (2017) demonstrando que a redução das doses de nitrogênio em cobertura pela metade não afetou o crescimento e o rendimento do milho quando associado a inoculação. Assim como Araújo *et al.* (2014) que relatam aumento de mais de 30% no rendimento de espigas comerciais de milho verde com redução de 15% da dose de adubação nitrogenada.

Entretanto Cunha *et al.* (2014), utilizando como tratamentos diferentes doses de fertilizante nitrogenado em cobertura associado ou não a inoculação de *Azospirillum brasilense* na cultura do milho, relatam não ocorrer a interação entre as doses de nitrogênio e a inoculação demonstrando que os fatores se comportam de forma independente, porém, os autores observam que as diferenças de produtividade entre os tratamentos com e sem a inoculação se tornaram cada vez maiores até atingirem a dose de 75% do nitrogênio em cobertura. Desta forma, através da diferença dos valores de produtividade do milho com e sem a inoculação nas diferentes doses de nitrogênio, estimam que a dose ideal de nitrogênio em cobertura é de aproximadamente 89% da dose recomendada, sendo que a

inoculação nesta dose quando comparada a não inoculação proporcionou um acréscimo de 5,5 sacas por hectare.

De acordo com o estudo de Moraes (2012) tanto nos cultivos de milho com utilização de alta ou baixa tecnologia, onde o autor se refere a aplicação ou não de fungicida, foi observado que a inoculação proporcionou um aumento médio de 4 a 7% no rendimento de grãos, sendo que ela ainda respondeu positivamente nos 4 diferentes híbridos testados. Porém, o autor ressalta que apesar da inoculação de *Azospirillum brasilense* possibilitar um incremento de produtividade, como não foi verificada interação entre as doses de nitrogênio e a inoculação mesmo que parte do nitrogênio requerido pela cultura fosse suprida pela associação das bactérias não se recomendaria a redução da dose do fertilizante nitrogenado, tampouco sua eliminação.

A não interação entre os fatores doses de nitrogênio e inoculação de *Azospirillum brasilense* é algo comum na literatura sendo apresentada por diversos autores, a exemplo de Repke *et al.* (2013), Cavallet *et al.* (2000), Cunha *et al.* (2014), Moraes (2012) e Rockenbach *et al.* (2017). No entanto, para resultados de diâmetro de espiga Portugal *et al.* (2017) se opõem as demais autores constatando a interação onde verifica que a dose de 40 kg ha⁻¹ de N apresentou o maior diâmetro de espigas de milho quando associado a inoculação, sendo mencionado pelo mesmo que, provavelmente esta foi a dose que não limitou a fixação biológica seja por excesso ou falta de nitrogênio no solo.

Quanto a parte da literatura que relata a não influencia da inoculação de *Azospirillum brasilense* cita-se o trabalho de Pandolfo *et al.* (2015). Nele os autores não verificaram nenhum efeito da inoculação seja no rendimento de grãos, massa de mil grãos, estatura de plantas, altura de inserção da espiga principal, e nem sobre o diâmetro do colmo, encontrando somente resultado positivo no rendimento de grãos devido a aplicação de nitrogênio em cobertura.

Repke *et al.* (2013) também encontraram resultados semelhantes a Pandolfo *et al.* (2015), onde a produtividade só sofreu interferência sob a adição de fertilizantes nitrogenados concluindo que a adição da prática de aplicação de *Azospirillum brasilense* via solução nas sementes não substitui o uso de fertilizantes nitrogenados e nem permite a redução da dose.

Reforçando ainda mais a não influencia da inoculação e corroborando com os resultados descritos por Repke *et al.* (2013) e Pandolfo *et al.* (2015), Godoy *et al.*

(2011) indica não haver nenhuma contribuição da inoculação de *Azospirillum brasilense* nos diferentes quesitos por ele avaliados nas plantas de milho de seu estudo em tratamentos com a mesma dose de nitrogênio.

A não influencia da inoculação já é um resultado desanimador, porém, quando resultados negativos são encontrados a situação torna-se ainda mais delicada. Tais resultados foram relatados por Portugal *et al.* (2017) onde a inoculação proporcionou um decréscimo de 3,83% da população final de plantas e de 1,13% para massa de mil grãos de milho, além da redução da altura de plantas. Segundo esses autores o decréscimo da população de plantas foi atribuído a problemas na deposição das sementes, uma vez que o inoculante utilizado era composto de turfa e interferiu no funcionamento da semeadora pneumática, já a redução da massa de mil grãos foi relacionada ao fato da bactéria ser heterotrófica e requerer NH_4^+ ou NO_3^- , enquanto a altura de plantas foi relacionada a menor população das mesmas.

Entre os motivos de insucesso da inoculação, além dos já expostos por Portugal *et al.* (2017), conforme Quadros *et al.* (2014) pode ser citado a escolha do híbrido que será semeado, onde o autor destaca em seu estudo que dentre os três híbridos por ele utilizados, os três, quando inoculados mantiveram o teor de clorofila relativamente maior até o estágio R3, enquanto que para dois deles foi constatado aumento do rendimento da matéria seca da parte aérea, em um deles ocorreu aumento do peso de mil grãos e em outro ocorreu aumento da altura de plantas. Diferentemente de Mello (2012) que em dois anos consecutivos, em diferentes áreas, avaliando dois híbridos diferentes, não obtiveram nenhum resultado para rendimento de grãos tampouco para os componentes do rendimento, ao realizar a inoculação.

Outro motivo do insucesso da inoculação pode ser explicado por Bessen *et al.* (2019) onde o autor relata, sob as condições de seu experimento, que a alta fertilidade do solo argiloso aliada a condições de clima ameno sem restrições hídricas não demonstrou a inoculação como sendo uma prática vantajosa. Além disso, conforme exposto por Pereira *et al.* (2019) a inoculação realizada pouco tempo antes da semeadura remete a melhores resultados de produtividade do milho se comparada a pré inoculação realizada conjuntamente ao tratamento com defensivos.

3 METODOLOGIA

O trabalho foi realizado a campo no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, na localidade de Vila Santa Catarina município de Salvador das Missões (latitude 28° 5'7.55" S, longitude 54°51'39.82" O, altitude aproximada de 264 metros).

O clima da região é classificado por Köppen como pertencente ao tipo Cfa, ou seja, subtropical úmido de verões quentes (KUNINCHNER; BURRIOL, 2001). Já o solo encontrado na área pertence a Unidade de Mapeamento Santo Ângelo, classificado como Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2018).

A área consiste em uma lavoura, que na safra de verão (2020-2021) foi cultivada com soja sob preparo convencional do solo. Após a cultura da soja foi semeada a cultura do azevém (*Lolium multiflorum*) onde se utilizou como fonte de adubação dejetos líquido suíno na dose de 36 m³ ha⁻¹, aplicado sobre a cultura quando a mesma ainda se encontrava em fase vegetativa.

Durante o período vegetativo do azevém também foi coletada, com auxílio de uma pá de corte, uma amostra de solo composta por 10 subamostras da camada de 0 a 20 cm. A amostra foi enviada a um laboratório vinculado a ROLAS-RS/SC (Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina) onde foi procedida a análise cujos resultados (Tabela 1), serviram de base para as quantidades do fertilizante químico aplicado no momento da semeadura do milho, e para a dose de nitrogênio aplicada em cobertura nos tratamentos que o continham.

A dessecação do azevém foi realizada no dia 07/08/2021, 26 dias antes da semeadura do milho. Para a dessecação foram utilizados herbicidas Cletodim e Glifosato, nas dosagens do ingrediente ativo de 0,108 e 1,397 kg ha⁻¹ respectivamente. As demais plantas daninhas na cultura do milho foram manejadas com Glifosato na dose do ingrediente ativo de 1,397 kg ha⁻¹ no dia 16/10/2021.

O delineamento experimental utilizado para condução do experimento foi o de blocos ao acaso com 6 tratamentos e 4 repetições, dispostos em esquema fatorial 2 x 3. O primeiro fator foi a inoculação ou não de *Azospirillum brasilense* e o segundo fator foi as diferentes doses de nitrogênio em cobertura, sem nitrogênio (0N), 50%

da dose de N recomendada em cobertura (41 kg ha⁻¹ de N) e 100% da dose de N recomendada em cobertura (82 kg ha⁻¹ de N).

Tabela 1 – Atributos químicos da camada 0-20 cm do solo da área do experimento.

Atributos químicos	Valores
Argila (%)	79
Matéria orgânica (%)	3,1
pH em água	5,6
Índice SMP	6,1
P (mg dm ⁻³)	12,6
K (mg dm ⁻³)	154
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	6,8
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,8
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	3,9
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	9
CTC pH 7 (cmol _c dm ⁻³)	12,9
Saturação de bases (%)	69,7

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Os 4 blocos foram constituídos por 6 tratamentos sendo eles: SI 0N sem inoculação e sem N em cobertura; CI 0N com inoculação de *Azospirillum brasilense* e sem N em cobertura; SI 50N sem inoculação + 50% da dose de N em cobertura; CI 50N com inoculação de *Azospirillum brasilense* + 50% da dose de N em cobertura; SI 100N sem inoculação + 100% da dose de N em cobertura; e CI 100N com inoculação de *Azospirillum brasilense* + 100% da dose de N em cobertura.

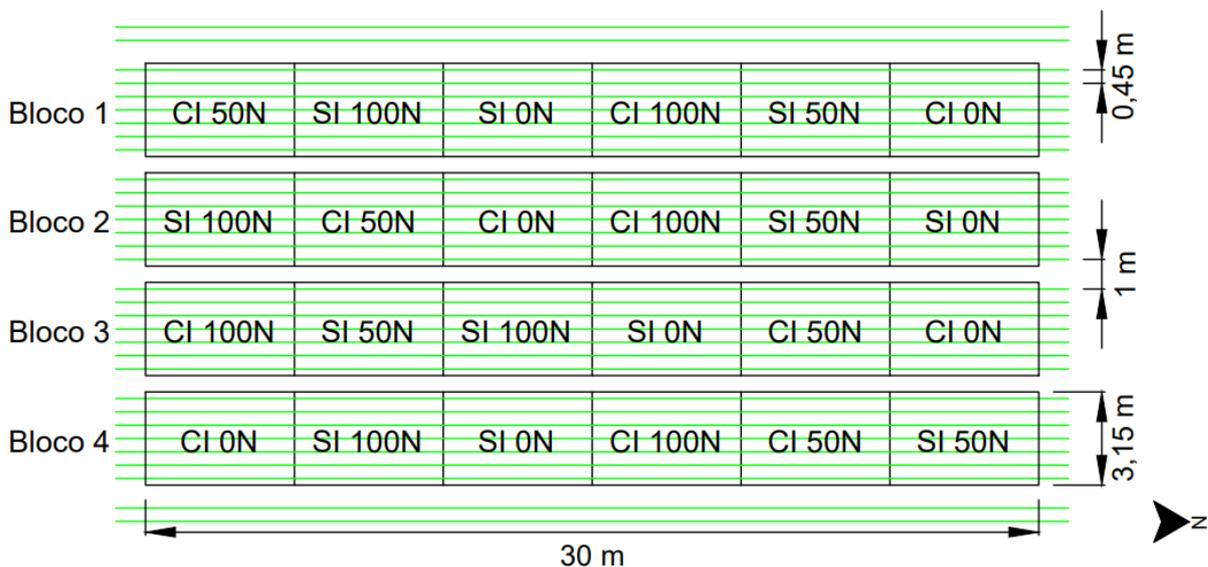
A demarcação das parcelas e semeadura do milho foi realizada dia 02/09/2021. Cada parcela teve as medidas definidas de 5 metros de comprimento por 3,15 metros de largura totalizando 15,75 m². A orientação das parcelas foi definida da seguinte forma: os 5 m de comprimento foram dispostos no sentido norte-sul enquanto os 3,15 m de largura foram dispostos no sentido leste-oeste. Cada bloco foi posicionado um ao lado do outro, onde se manteve à distância de 1 m entre as linhas de semeadura da extremidade de cada bloco. A direção dos blocos, assim como a direção das linhas de semeadura obedeceu ao sentido do maior comprimento.

Partindo do pressuposto da expectativa de rendimento do milho de 9 t ha⁻¹ a adubação na semeadura foi composta pela dose de 33 kg ha⁻¹ de N, 136 kg ha⁻¹ de

P_2O_5 e 90 kg ha^{-1} de K_2O . Já a dose de nitrogênio aplicado em cobertura foi de 41 kg ha^{-1} para meia dose, e 82 kg ha^{-1} para dose completa. A fonte de nitrogênio utilizada na adubação de cobertura foi a ureia (45% de N).

Para marcação das linhas de semeadura utilizou-se uma semeadora adubadora marca KF modelo 7040 equipada com 7 linhas distantes 45 cm uma da outra. Conjuntamente ao processo de marcação realizado pela semeadora adubadora foi aplicado, através do mecanismo sulcador tipo haste, fertilizante químico NPK nas quantidades descritas anteriormente.

Figura 1 – Caracterização do experimento com a distribuição dos tratamentos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

A semeadura do milho híbrido B2433PWU da Brevant Sementes foi realizada de forma manual com o auxílio do popular “saraquá” regulado para depositar duas sementes a cada cova. Primeiramente foram semeadas as sementes sem a presença da inoculação, a fim de evitar problemas de contaminação da semeadora. As sementes destinadas aos tratamentos que possuem inoculação de *Azospirillum brasilense* foram inoculadas com no mínimo uma hora de antecedência ao início da semeadura. A dose do produto comercial utilizada, conforme orientação do fabricante, foi de 100 mL para cada 60.000 sementes, sendo esse produto composto pelas estirpes AbV5 e AbV6 de *Azospirillum brasilense* na concentração de $2 \times 10^8 \text{ UFC mL}^{-1}$. Após a emergência das plantas foi procedido o desbaste para obtenção da população final de 3 plantas por metro linear.

Figura 2 – Demarcação e semeadura do experimento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

A primeira avaliação foi realizada quando as plantas se encontravam em estágio fenológico entre V4 e V6, antes da aplicação de N em cobertura nas parcelas que o continham. Para essa avaliação foram marcadas aleatoriamente 5 plantas das 3 linhas centrais de cada parcela, excluindo-se 1 metro em cada extremidade, sendo então quantificado o número de folhas viáveis expandidas completas em cada planta.

Após a primeira avaliação, com as plantas ainda em estágio fenológico entre V4 e V6 e as condições climáticas favoráveis foi realizada a aplicação de nitrogênio em cobertura nos tratamentos com N.

Figura 3 – Aspecto amarelado das folhas das plantas de milho em parcela sem adubação nitrogenada em cobertura.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Ao atingir o florescimento (R1) foram determinadas, nas mesmas 5 plantas demarcadas na primeira avaliação, a altura média de plantas, a altura média de inserção da espiga e novamente o número de folhas viáveis expandidas completas. A altura média de plantas foi composta pela distância da superfície do solo até a base da inflorescência masculina, enquanto a altura média de inserção da espiga foi composta pela distância da superfície do solo até o ponto de inserção da espiga.

A colheita foi realizada de forma manual no dia 08/01/2022 após a planta atingir a maturidade fisiológica. Para esse procedimento foram considerados apenas as três linhas centrais de cada parcela desprezando-se 1 m em cada extremidade, o que resultou em uma área útil de 4,05 m². Após a debulha e pesagem dos grãos foi calculada a produtividade em kg ha⁻¹ cujos valores foram corrigidos para 13% de umidade.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando F significativo ($p < 0,05$), foi aplicado o teste de Tukey ($p < 0,05$) para inoculação e análise de regressão ($p < 0,05$) para doses de nitrogênio em cobertura. As análises estatísticas foram realizadas no software SISVAR.

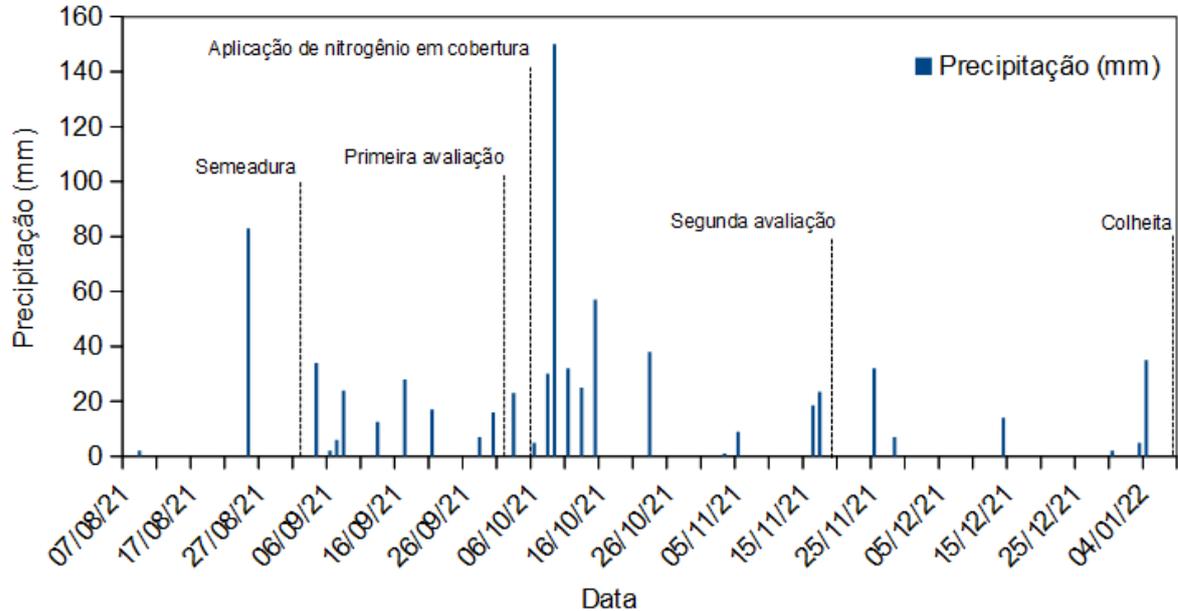
Figura 4 – Aspecto das espigas de milho dos tratamentos SI 0N (A) e CI 50N (B).



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Ao longo do período de condução do experimento a campo, também foram coletados os dados de precipitação pluvial (mm) através de um pluviômetro instalado próximo do experimento (Figura 5).

Figura 5 – Precipitação pluvial (mm) ao longo da condução do experimento a campo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Não houve interação entre os fatores inoculação de *Azospirillum brasilense* e doses de nitrogênio em cobertura para nenhuma variável avaliada, isso indica que os mesmos se comportam de forma independente, sendo portanto, realizada a avaliação individual para cada fator.

4.1 INOCULAÇÃO DE *AZOSPIRILLUM BRASILENSE*

As variáveis número de folhas viáveis expandidas completas entre V4 a V6 (NFVEC V4 a V6) e número de folhas viáveis expandidas completas em R1 (NFVEC R1) não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos indicando não haver efeito da inoculação (Tabela 2). Esses resultados corroboram com os descritos por Jales *et al.* (2021) onde os autores também não obtiveram efeito da inoculação sobre o número de folhas totalmente expandidas aos 32 dias após a emergência das plantas de milho. Porém, em contrapartida, Dartora *et al.* (2013b) relatam influência positiva sobre o desenvolvimento inicial da cultura do milho ao inocular diferentes estirpes de *Azospirillum brasilense*.

Tabela 2 – Número de folhas viáveis expandidas completas entre V4 a V6 (NFVEC V4aV6), número de folhas viáveis expandidas completas em R1 (NFVEC R1), altura média de plantas (AP), altura média da inserção da espiga (AIE) e produtividade (PROD) em função do uso da inoculação.

Tratamentos	NFVEC V4aV6 (unid.)	NFVEC R1 (unid.)	AP (cm)	AIE (cm)	PROD (kg ha ⁻¹)
Sem inoculação	4,05 ^{ns}	11,15 ^{ns}	168,57 b	97,12 b	6061,52 b
Com inoculação	4,03	11,45	176,80 a	103,80 a	6617,08 a
C.V.(%)	2,2	3,46	3,65	4,4	5,12

* Médias não seguidas pela mesma letra, diferem estatisticamente entre si, pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. ^{ns} Não significativo. C.V.= coeficiente de variação.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Os maiores valores para as variáveis altura média de plantas (AP) e altura média de inserção da espiga (AIE) foram obtidos no tratamento composto pela

inoculação, isso representa uma superioridade média de 8,23 e 6,68 cm, em relação ao tratamento não inoculado, respectivamente. Esses resultados reforçam a sugestão de Quadros *et al.* (2014) de que, dependendo do genótipo do milho o benefício da inoculação pode ser observado em diferentes partes da planta, porém, contradizem os encontrados por Cunha *et al.* (2014) que não verificaram efeito da inoculação para estas mesmas variáveis. Segundo Li *et al.* (2007) maiores valores nestes dois quesitos da planta tornam a mesma mais suscetível ao acamamento, no entanto, ao longo da condução deste experimento não se obteve este problema.

De acordo Repke *et al.* (2013, p. 219) “os fatores que interferem nas respostas das culturas à inoculação de *Azospirillum* ainda não estão totalmente esclarecidos”. Porém, vale observar que Cunha *et al.* (2014) não utilizaram de nenhum tipo de adubação nitrogenada no momento da semeadura do milho, enquanto no presente estudo utilizou-se da dose de 33 kg ha⁻¹. Segundo Quadros *et al.* (2014, p. 214) “é provável que bactérias do gênero *Azospirillum* utilizem nitrogênio oriundo da adubação nitrogenada para assimilar carbono e multiplicar-se mais rapidamente, incrementando os efeitos da inoculação”.

A produtividade (PROD) do milho com a inoculação aumentou em 555,56 kg ha⁻¹ em relação à não inoculação, isso representa uma diferença de 9,2 sacas de milho por hectare. Vogel *et al.* (2013) atribui o aumento da produtividade a melhoria da translocação da biomassa até os grãos e ao aumento da atividade fotossintética, justificado pela elevação dos tecidos verdes e aumento do sistema radicular, ocasionado em razão da simbiose. Já Martins *et al.* (2012) indicam que a grande ferramenta de ação do *Azospirillum* é a capacidade que ele tem em produzir metabólitos, destacando auxinas, citocininas, giberelinas e ácido jasmônico, que possuem características promotoras do crescimento, inclusive radicular, favorecendo maior absorção de nutrientes e água.

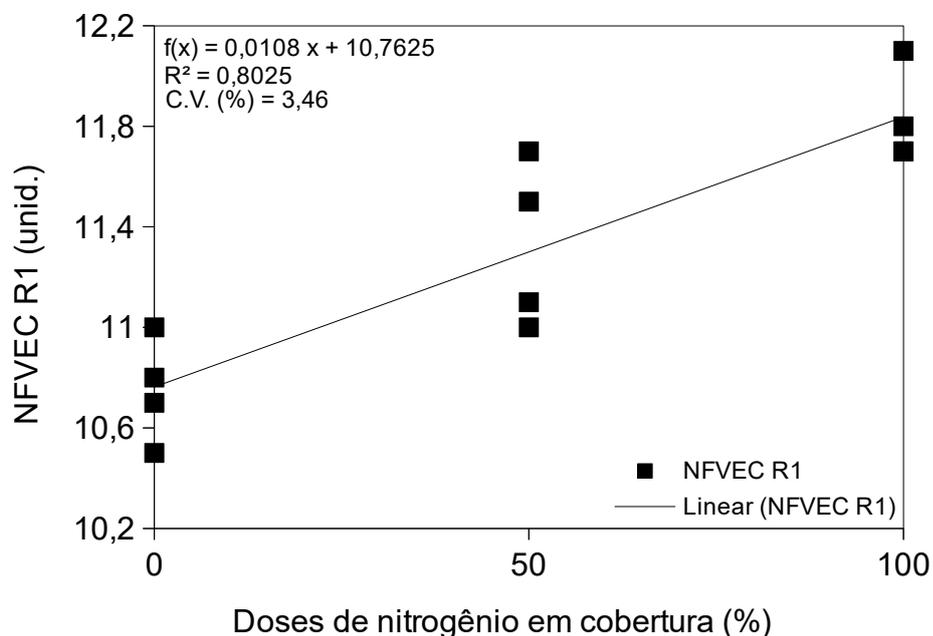
Conforme Hungria (2011) os melhores resultados em relação a utilização da inoculação são encontrados em situações de baixo a médio investimento na lavoura, em que a produtividade média não é muito alta. Isso pode ter sido um dos fatores responsáveis pela situação favorável da inoculação no presente estudo, pois a produtividade média alcançada foi de apenas 6.339,3 kg ha⁻¹ provavelmente decorrente da baixa precipitação registrada após o estágio de florescimento das plantas (Figura 5).

Compreende-se, portanto, que os resultados associados a inoculação *Azospirillum brasilense* na cultura do milho são dinâmicos. Apesar do custo relativamente baixo, assim como o baixo impacto ambiental, a técnica ainda necessita ser melhorada por conta dos fatores genéticos e o nível de investimento adotado na lavoura (PANDOLFO *et al.*, 2015; VOGT *et al.*, 2014) considerando ainda as condições ambientais de cada local (COELHO *et al.*, 2017).

4.2 DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA

As doses de nitrogênio em cobertura no milho influenciaram as variáveis NFVEC R1, AIE e PROD, porém não influenciaram a AP. A variável NFVEC V4 a V6 não foi submetida a análise estatística, pois sua avaliação a campo foi realizada antes da aplicação de nitrogênio em cobertura.

Figura 6 – Análise de regressão do número de folhas viáveis expandidas completas em R1 (NFVEC R1) em função das diferentes doses de nitrogênio em cobertura.



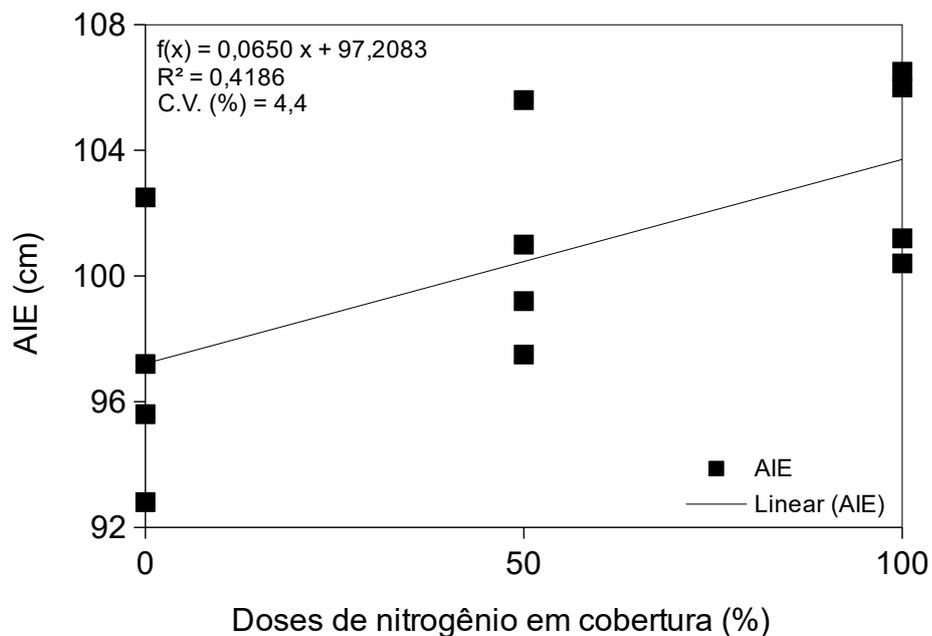
Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

O modelo linear foi o que melhor representou as respostas da variável NFVEC R1 em relação as doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (Figura 6).

Conforme a figura podemos observar que o NFVEC R1 é crescente até atingir o valor médio máximo de 11,8 folhas no ponto equivalente a 100% da dose de nitrogênio em cobertura. Isso indica que, quanto maior foi a dose maior foi a quantidade de folhas produzidas pela planta.

Segundo Okumura; Mariano; Zaccheo (2011) ao longo do processo de crescimento da planta a mesma necessita do nitrogênio para realizar a síntese de proteína, absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular, proporcionando uma vegetação verde e abundante, com aumento da folhagem e rápido crescimento.

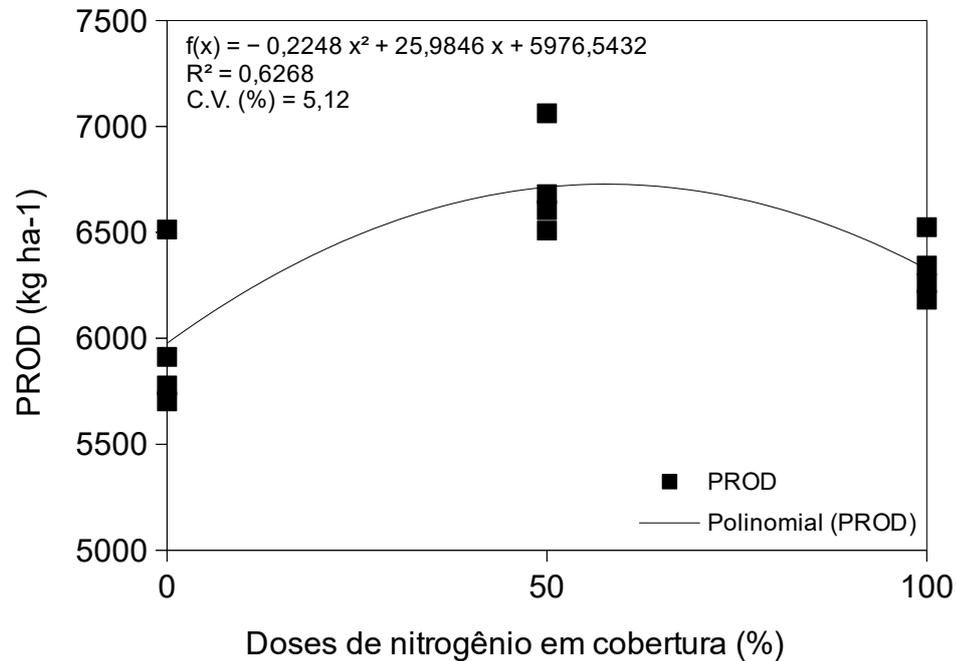
Figura 7 – Análise de regressão da altura média da inserção da espiga (AIE) em função das diferentes doses de nitrogênio em cobertura.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A variável AIE também foi influenciada linearmente pelas doses de nitrogênio em cobertura (Figura 7). O maior valor médio da AIE (103,52 cm) foi apresentado no tratamento composto pela maior dose de nitrogênio em cobertura, corroborando com os resultados descritos por Gitti *et al.* (2013).

Figura 8 – Análise de regressão da produtividade (PROD) em função das diferentes doses de nitrogênio em cobertura.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A aplicação de nitrogênio em cobertura aumentou a produtividade do milho até a dose estimada pelo modelo polinomial quadrático de 57,8%, correspondendo a produtividade máxima de 6727,59 kg ha⁻¹ (Figura 8). A partir dessa dosagem houve redução na produtividade, diferentemente do relatado por Dartora *et al.* (2013a), Moreira; Valadão; Valadão Júnior (2019) e Pandolfo *et al.* (2015), que encontraram efeitos lineares em resposta a esse mesmo fator.

Uma possível explicação para essa redução de produtividade pode estar relacionada ao estímulo vegetativo da planta, claramente observado na Figura 6, onde as plantas adubadas com a maior dose de nitrogênio apresentaram maior produção de folhas. Segundo Schlichting *et al.* (2014), o excesso de nitrogênio faz com que a planta vegete e armazene menos carboidratos. Um menor armazenamento de carboidratos consequentemente está relacionado a uma menor reserva para o enchimento de grãos acarretando em uma menor produtividade (MAGALÃES; DURÃES, 1996).

5 CONCLUSÕES

A inoculação de *Azospirillum brasilense* em milho aumenta a altura média de plantas, altura média de inserção da espiga e produtividade.

A adubação nitrogenada em cobertura correspondente a 100% da dose recomendada ocasiona os maiores valores para as variáveis número de folhas viáveis expandidas completas em R1 e altura média de inserção da espiga, enquanto a dose estimada pelo modelo polinomial quadrático de 57,8% da dose recomendada proporciona a produtividade máxima de 6727,59 kg ha⁻¹.

Não é possível reduzir a quantidade de nitrogênio aplicado via adubação por cobertura quando se realiza a inoculação com *Azospirillum brasilense*, pois os fatores se comportam de forma independente. Todavia utilizar a inoculação é uma ótima alternativa, pois como demonstrado nas condições do presente trabalho houve um acréscimo de 555,56 kg ha⁻¹ na produtividade do milho, visto que custo do inoculante foi de apenas 12,00 R\$ ha⁻¹.

REFERÊNCIAS

APOLONIO, Thiago Moia. **Caracterização de estirpes de *Azospirillum brasilense* contendo proteína NifA deletada no domínio GAF**. 2018. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Ciências-Bioquímica, Bioquímica e Biologia Molecular, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: <https://www.prppg.ufpr.br/signa/visitante/trabalhoConclusaoWS?idpessoal=43465&idprograma=40001016003P2&anobase=2018&idtc=1282>. Acesso em: 24 jul. 2021.

ARAÚJO, Raul Matos *et al.* Resposta do milho verde à inoculação com *Azospirillum brasilense* e níveis de nitrogênio. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 44, n. 9, p. 1556-1560, set. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/pn3jLP54rC6hSrwqwqVCVFg/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 out. 2021

BAHIA FILHO, Antônio F. C. *et al.* **Nutrição e Adubação do Milho**. 1983. Embrapa Milho e Sorgo. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/476104/nutricao-e-adubacao-do-milho>. Acesso em: 17 jul. 2021.

BARROS, Inácio de *et al.* **Recomendação de nitrogênio para a cultura do milho nos Tabuleiros Costeiros: desempenho produtivo e econômico**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016. 20 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/152252/1/BP-109.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2021.

BESEN, Marcos Renan *et al.* Produtividade do milho em resposta à inoculação com *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada em clima subtropical. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 2, p. 257-268, 2019. Disponível em: <http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/1053/1426>. Acesso em: 12 out. 2021.

BISSANI, Carlos Alberto *et al.* **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 344 p.

CABEZAS, W. A. R. Lara *et al.* Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura de milho, em sistema plantio direto no Triângulo Mineiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 24, n. 2, p. 363-376, jun. 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/C89dwKHZmpPq3Xd3P43KKjC/abstract/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 12 out. 2021.

CAVALLET, Luiz Ermindo *et al.* Produtividade do milho em resposta à aplicação de nitrogênio e inoculação das sementes com *Azospirillum* spp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 129-132, abr. 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/Z9BZMgZ8RV9JMDshg5GvTqH/abstract/?lang=pt#>. Acesso em: 24 jul. 2021.

CHIODI, Luciane. **Integração espacial no mercado brasileiro de milho**. 2006. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Economia Aplicada, Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2006. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-13112006-082158/publico/LucianeChiodi.pdf>. Acesso em: 12 out. 2021.

COELHO, Antônio Eduardo *et al.* Inoculação de sementes com *Azospirillum* brasileiro em plantas de milho submetidas à restrição hídrica. **Sci Agrar**, v. 16, n. 2, p. 186-92, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Antonio-Coelho-3/publication/319088375_INOCULACAO_DE_SEMENTES_COM_Azospirillum_brasileNSE_EM_PLANTAS_DE_MILHO_SUBMETIDAS_A_RESTRICAO_HIDRICA/links/598f969c458515b87b45cd07/INOCULACAO-DE-SEMENTES-COM-Azospirillum-brasileNSE-EM-PLANTAS-DE-MILHO-SUBMETIDAS-A-RESTRICAO-HIDRICA.pdf. Acesso em: 14 mar. 2022.

COELHO, Antônio Marcos. **Nutrição e Adubação do Milho**. 2006. Circular Técnica 78. Embrapa. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/490410/1/Circ78.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2021.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS – RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11. ed. Pallotti, 2016. 376 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Série histórica**. 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20>. Acesso em: 11 mar. 2022.

CONTINI, Elisio *et al.* **Milho – Caracterização e desafios tecnológicos**. 2019. Série desafios do agronegócio brasileiro (NT2). Embrapa. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/195075/1/Milho-caracterizacao.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2021.

CRUZ, José Carlos. **Cultivo do Milho**. 2007. Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção, 1. 2007. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_sisal/arvore/CONT000fckl80cd02wx5eo0a2ndxy8x2s1to.html#topoPagina. Acesso em: 12 out. 2021.

CRUZ, José Carlos *et al.* **Cultivo do Milho**. 2010. Embrapa Milho e Sorgo. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27037/1/Plantio.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2021.

CRUZ, José Carlos *et al.* **Milho: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília Df: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. 338 p. Disponível em: <https://mais500p500r.sct.embrapa.br/view/arquivoPDF.php?publicacaooid=90000022>. Acesso em: 07 jul. 2021.

CUNHA, Fernando Nobre *et al.* Efeito da *Azospirillum brasilense* na produtividade de milho no sudoeste goiano. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 261-272, 30 dez. 2014. Disponível em: <http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/501>. Acesso em: 12 out. 2021.

DARTORA, Janaína *et al.* Adubação nitrogenada associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae* na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 17, n. 10, p. 1023-1029, out. 2013a. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/Cmyt5jFtNnJGVs3f8QKqbbF/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 14 mar. 2022.

DARTORA, Janaína *et al.* Desenvolvimento inicial do milho em resposta a inoculação de *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XXXIV, 2013, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis SC. 2013b. Disponível em: <https://www.eventosolos.org.br/cbcs2013/anais/arquivos/810.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2022.

DEPARIS, Gelavir Antonio. **Espaçamento, adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura do milho**. 2006. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2006. Disponível em: http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/1285/1/Gelavir_Deparis_2006. Acesso em: 20 jul. 2021.

ECKERT, Barbara *et al.* *Azospirillum doebereineriae* sp. nov., a nitrogen-fixing bacterium associated with the C4-grass *Miscanthus*. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, Neuherberg, Germany, v. 51, p. 17-26, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 5 ed. Brasília, Embrapa, 2018.

FRAZÃO, Joaquim J. *et al.* Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 18, n. 12, p. 1262-1267, dez. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/tmZZ7mtKDyxmw8hTFSZ8sDP/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 22 jul. 2021.

GARCIA, João Carlos *et al.* **Aspectos econômicos da produção e utilização do milho**. 2006. Circular técnica 74. Embrapa. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/474206/1/Circ74.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2021.

GITTI, Douglas de Castilho *et al.* **Inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* e doses de nitrogênio em cobertura do milho safrinha**. 2013. Disponível em: <https://www.cpao.embrapa.br/cds/milhosafriinha2013/PDF/80.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2022.

GODOY, Fernanda de Almeida. **Estratégias tecnológicas com bactérias promotoras de crescimento de plantas na cultura do milho**. 2017. 32 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20363/1/EstrategiasTecnologicasBacterias.pdf#%5B11%2C%7B%22name%22%3A%22XYZ%22%7D%2C82%2C238%2C0%5D>. Acesso em: 24 jul. 2021.

GODOY, Júlio César Senko de *et al.* Produtividade de milho em resposta a doses de nitrogênio com e sem inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*. **Campo Digital**, [S.L.], v. 6, n. 1, 2011. Disponível em: <https://revista2.grupointegrado.br/revista/index.php/campodigital/article/view/980>. Acesso em: 12 out. 2021.

GOMES, Eliane Aparecida *et al.* **Microrganismos promotores de crescimento de plantas**. 2016. Documentos 208 Embrapa Milho e Sorgo. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1063799/1/doc208.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2021.

HUERGO, Luciano Fernandes. **Regulação do metabolismo de nitrogênio em *Azospirillum brasilense***. 2006. 170 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós Graduação em Bioquímica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/4643/tese%20Luciano%20Huergo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 24 jul. 2021.

HUNGRIA, Mariangela; CAMPO, Rubens José; MENDES, I. de C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Embrapa Soja. Circular Técnica 35. n. 13. p. 48. 2001. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPSO/18515/1/circTec35.pdf>. Acesso em: 12 out. 2021.

HUNGRIA, Mariangela. ***Azospirillum*: um velho novo aliado** in Reunião brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas, 32. 2016. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1057259>. Acesso em: 07 jul. 2021.

HUNGRIA, Mariangela *et al.* Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant And Soil**, [S.L.], v. 331, n. 1-2, p. 413-425, 13 jan. 2010. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-009-0262-0>. Disponível em: 10.1007/s11104-009-0262-0. Acesso em: 12 out. 2021.

HUNGRIA, Mariangela. **Inoculação com *Azospirillum brasiliense*: inovação em rendimento a baixo custo**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 36 p. Documento 325. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/29676/1/Inoculacao-com-azospirillum.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2021.

HUNGRIA, Mariangela; VARGAS, Milton Alexandre T.; CAMPO, Rubens J. **A inoculação da soja**. Londrina: Embrapa-CNPSO, 1997. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/459832/1/circtec17.pdf>. Acesso em: 12 out. 2021.

INAGAKI, Adriano Mitio. **Bacrérias promotoras de crescimento de plantas na cultura do milho submetido a diferentes níveis de pH do solo**. 2014. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2014. Disponível em: http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/1255/1/Diss_Inagaki_2014. Acesso em: 12 out. 2021.

INSTITUTO DA POTASSA & FOSFATO. 1998. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2a ed. Piracicaba, POTAFOS. 177p. Disponível em: <https://www.ufjf.br/baccan/files/2019/04/Manual-Internacional-de-Fertilidade-do-Solo.pdf>. Acesso em: 30 set. 2021.

JALES, Hadassa Fontoura *et al.* **Morfofisiologia do milho inoculado com *Azospirillum brasilense* submetido à restrição hídrica e adubação nitrogenada**. Embrapa Milho e Sorgo-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 227. 2021. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1133168/1/Bol-227-Morfologia-milho-inoculado-Azospirillum.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2022.

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**, S. Maria v. 2, n. 1, p. 171-182, 2001. Disponível em: <https://periodicos.ufn.edu.br/index.php/disciplinarumNT/article/view/1136>. Acesso em: 28 jun. 2021.

LI, Yuling *et al.* The genetic relationship among plant-height traits found using multiple-trait QTL mapping of a dent corn and popcorn cross. **Genome**, [S.L.], v. 50, n. 4, p. 357-364, abr. 2007. Canadian Science Publishing.

LIMA, Regina Lúcia Félix de Aguiar. Micorrizas arbusculares e absorção de fósforo em função da capacidade de fixação de fósforo do solo e da competição com a microbiota. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 03, p. 1062-1079, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Regina-Lucia-Felix-De-Aguiar-Lima/publication/342014257_Micorrizas_arbusculares_e_absorcao_de_fosforo_em_funcao_da_capacidade_de_fixacao_de_fosforo_do_solo_e_da_competicao_com_a_microbiota_Arbuscular_mycorrhizae_and_phosphorus_uptake_in_soils_as_a_function/links/5edea094299bf1d20bdae3d6/Micorrizas-arbusculares-e-absorcao-de-fosforo-em-funcao-da-capacidade-de-fixacao-de-fosforo-do-solo-e-da-competicao-com-a-microbiota-Arbuscular-mycorrhizae-and-phosphorus-uptake-in-soils-as-a-function.pdf. Acesso em: 12 out. 2021.

LUZ, Maria José da Silva; FERREIRA, Gilvan Barbosa; BEZERRA, José Renato Cortez. **Adubação e correção do solo: procedimentos a serem adotados em função dos resultados da análise do solo**. Procedimentos a Serem Adotados em Função dos Resultados da Análise do Solo. 2002. Circular Técnica 63. Embrapa. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPA/19595/1/CIRTEC63.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2021.

MACHADO, Altair Toledo; SODEK, Ladaslav; FERNANDES, Mânlio Silvestre. N-partitioning, nitrate reductase and glutamine synthetase activities in two contrasting varieties of maize. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 36, n. 2, p. 249-256, fev. 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/MHdLQ8RB4Sq3KqGxr4m6q7d/?lang=en>. Acesso em: 24 jul. 2021.

MAGALHÃES, Paulo César; DURÃES, Frederico OM; GOMIDE, Reinaldo Lúcio. Fisiologia da cultura do milho. **Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 1996. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/478294/1/Fisiologiacultura.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2022.

MAGALHÃES, Paulo César *et al.* **Fisiologia do Milho**. 2002. Circular Técnica 22. Embrapa. Disponível em: <http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/milho/circul22.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2021.

MARTINS, Fábio Aurélio Dias *et al.* Avaliação de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum brasilense*. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 18, n. 2, p. 102-109, 2012. Disponível em: <http://revistapag.agricultura.rs.gov.br/ojs/index.php/revistapag/article/view/134/107>. Acesso em: 14 mar. 2022.

MENDES, Iêda de Carvalho; REIS JUNIOR, Fábio Bueno; CUNHA, Mariangela Hungria da. **20 perguntas e respostas sobre fixação biológica de nitrogênio**. Embrapa Cerrados. Documentos 281. 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/883833/1/doc281.pdf>. Acesso em: 12 out. 2021.

MENDES, Rodrigo; GARBEVA, Paolina; RAAIJMAKERS, Jos M.. The rhizosphere microbiome: significance of plant beneficial, plant pathogenic, and human pathogenic microorganisms. **Fems Microbiology Reviews**, [S.L.], v. 37, n. 5, p. 634-663, set. 2013. Disponível em: <https://academic.oup.com/femsre/article/37/5/634/540803>. Acesso em: 12 out. 2021.

MELLO, Naiana de. **Inoculação de *Azospirillum brasilense* nas culturas de milho e trigo**. 2012. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2012. Disponível em: http://tede.upf.br/jspui/bitstream/tede/527/1/2012Naiana_de_Mello.pdf. Acesso em: 24 jul. 2021.

MIRANSARI, Mohammad. Plant Growth Promoting Rhizobacteria. **Journal Of Plant Nutrition**, [S.L.], v. 37, n. 14, p. 2227-2235, 30 ago. 2014. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918>. Acesso em: 12 out. 2021.

MORAES, Tânia Prado de. **Adubação nitrogenada e inoculação com *Azospirillum brasilense* em híbridos de milho**. 2012. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/12160/1/d.pdf>. Acesso em: 12 out. 2021.

MOREIRA, Rodrigo Cardoso; VALADÃO, Franciele Caroline de Assis; VALADÃO JÚNIOR, Daniel Dias. Desempenho agrônômico do milho em função da inoculação com *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 62, 2019. Disponível em: <http://btcc.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/2865/1554>. Acesso em: 27 mar. 2022.

MOREIRA, Fátima Maria de Souza; SIQUEIRA, José Oswaldo. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. ed. Lavras: Ufla, 2006. 729 p.

MOREIRA, Fátima Maria de Souza *et al.* Bactérias diazotróficas associativas: diversidade, ecologia e potencial de aplicações. **Comunicata Scientiae**, [S.L.], v. 2, n. 2, p. 74-99. nov. 2010. Disponível em: <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA268067252&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=21769079&p=AONE&sw=w&userGroupName=anon%7E6714ed>. Acesso em: 07 jul. 2021.

MÜLLER, Tânia Maria. **Inoculação de *Azospirillum brasilense* associada a níveis crescentes de adubação nitrogenada e o uso de bioestimulante vegetal na cultura do milho**. 2013. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Produção Vegetal, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2013. Disponível em: http://www.unicentroagronomia.com/imagens/noticias/dissertacao_tania.pdf. Acesso em: 07 jul. 2021.

MUMBACH, Gilmar Luiz *et al.* Resposta da inoculação com *Azospirillum brasilense* nas culturas de trigo e de milho safrinha. **Scientia Agraria**, [S.L.], v. 18, n. 2, p. 97, 7 jul. 2017. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/51475>. Acesso em: 24 jul. 2021.

OKUMURA, Ricardo Shigueru; MARIANO, Daiane de Cinque; ZACCHEO, Paulo Vicente Contador. Use of nitrogen fertilizer in corn. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 4, n. 2, p. 226-244, 2011. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/view/1337>. Acesso em: 14 mar. 2022.

OLIVEIRA, André Luiz Martinez de; URQUIAGA, Segundo; BALDANI, José Ivo. **Processos e mecanismos envolvidos na influência de microrganismos sobre o crescimento vegetal**. 2003. Documentos 161 Embrapa Agrobiologia. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/624875/1/doc161.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2021.

OLSON, R. A.; KURTZ, L. T. Crop nitrogen requirements, utilization, and fertilization. **Nitrogen in agricultural soils**, v. 22, p. 567-604, 1982. Disponível em:

<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronmonogr22.c15>. Acesso em: 12 out. 2021.

PANDOLFO, Carla Maria *et al.* Desempenho de milho inoculado com *Azospirillum brasilense* associado a doses de nitrogênio em cobertura. **Agropecuária Catarinense**, [S. L.], v. 27, n. 3, p. 94-99, 2015. Disponível em: <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/RAC/article/view/567/471>. Acesso em: 29 jul. 2021.

PORTUGAL, José Roberto *et al.* Cover crops, nitrogen doses, and inoculation with *Azospirillum brasilense*, in maize in the Cerrado. **Revista Ciência Agronômica**, [S.L.], v. 48, n. 4, p. 639-649, dez. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/sMgZHsKFbkJKM9FRvkwHRgR/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 out. 2021.

PEREIRA, Lucas Caiubi *et al.* Tratamento industrial e pré-inoculação do milho com *Azospirillum* spp.: potencial fisiológico das sementes e produtividade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [S.L.], v. 18, n. 2, p. 245-256, 19 dez. 2019. Disponível em: <http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/1026>. Acesso em: 12 out. 2021.

QUADROS, Patricia Dörr de *et al.* Desempenho agrônomo a campo de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum*. **Revista Ceres**, [S.L.], v. 61, n. 2, p. 209-218, abr. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/v4RGgXhxKtJzkKRtGTh7RDj/?lang=pt>. Acesso em: 24 jul. 2021.

REETZ, Harold F.. **Fertilizantes e seu uso eficiente**. Paris França: Anda, 2016. 178 p. Tradução de: Alfredo Scheid Lopes. Disponível em: <https://www.ufla.br/dcom/wp-content/uploads/2018/03/Fertilizantes-e-seu-uso-eficiente-WEB-Word-Ouubro-2017x-1.pdf>. Acesso em: 12 out. 2021.

REPKE, Rodrigo Alberto *et al.* Eficiência da *Azospirillum brasilense* Combinada com Doses de Nitrogênio no Desenvolvimento de Plantas de Milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 214-226, 30 dez. 2013. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/141168/ISSN1980-6477-2013-12-03-214-226.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 24 jul. 2021.

ROCKENBACH, Maicon Diego Altmayer *et al.* Eficiência da aplicação de *Azospirillum brasilense* associado ao nitrogênio na cultura do milho. **Acta Iguazu**, v. 6, n. 1, p. 33-44, 2017. Disponível em: <https://saber.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/16558>. Acesso em: 12 out. 2021.

SANTOS, Mariana Sanches *et al.* **Análise da concentração e da sobrevivência de *Azospirillum brasilense* estirpes Ab-V5 e Ab-V6 em diferentes meios de cultura**. Anais da XXVII Reunião Latinoamericana de Rizobiologia. p.278. NEPAR. 2016. Disponível em: https://sbcs-nepar.org.br/wp-content/uploads/2020/02/anais_RELAR_2016.pdf. Acesso em: 12 out. 2021.

SCHLICHTING, Alessana Franciele et al. Desenvolvimento do milho submetido a doses de nitrogênio e tensões de água no solo. **Irriga**, v. 19, n. 4, p. 598-611, 2014. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/download/682/1067/6443>. Acesso em: 14 mar. 2022.

SILVA, Andréia Aparecida de Oliveira; FELIPE, Taís Arruda; BACH, Erna Elisabeth. Ação do *Azospirillum brasilense* no desenvolvimento das plantas de trigo (variedade IAC-24) e cevada (variedade CEV 95033). **Conscientiae Saúde**, São Paulo, n. 3, p. 29-35, abr. 2004. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/929/92900304.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2021.

SILVA, Edson Cabral da et al. Épocas e formas de aplicação de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 29, n. 5, p. 725-733, out. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/NSYvZPbWKqjCVfWQfDYLphk/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 07 jul. 2021.

SOUZA, Francisco Adriano de; SCHLEMPER, Thiago Roberto; STÜRMER, Sidney Luíz. A importância da tecnologia de inoculação de fungos micorrízicos para a sustentabilidade na olericultura. **Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2017. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1074417/1/Importanciatecnologia.pdf>. Acesso em: 12 out. 2021.

SOUZA, Juliana Aparecida de et al. Lucratividade do milho em razão das fontes, doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Revista Ceres**, [S.L.], v. 59, n. 3, p. 321-329, jun. 2012. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/4SCwncVBrWhYDZSpsDfFmbq/?lang=pt>. Acesso em: 07 jul. 2021.

STOFFEL, Shantau Camargo Gomes. **Inoculante micorrízico a base de *Rhizophagus intradices* no crescimento e nutrição de culturas de importância agrícola**. 2019. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/204470/PRGV0300-D.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 out. 2021.

STOFFEL, Shantau Camargo Gomes et al. **Eficiência agrônômica de inoculante micorrízico para as culturas de milho e soja no Brasil**. Anais XIX RELARE. Embrapa Agrobiologia. Documentos 310. p. 29. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1098167/1/DOC3102019.pdf>. Acesso em: 12 out. 2021.

SZILAGYI-ZECCHIN, Vivian J.; MARRIEL, Ivanildo E.; SILVA, Paulo R. F.. Produtividade de milho inoculado com *Azospirillum brasilense* em diferentes doses de nitrogênio cultivado em campo no Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, [S.L.], v. 40, n. 4, p. 795-798, dez. 2017. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/16522/13463>. Acesso em: 24 jul. 2021.

VOGEL, Gabriel Felipe *et al.* Agronomic performance of *Azospirillum brasilense* on wheat crops. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, [S.L.], v. 6, n. 3, p. 111-119, 2013. GN1 Genesis Network. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/download/2050/2192>. Acesso em: 14 mar. 2022.

VOGT, Gilcimar Adriano *et al.* Desempenho de genótipos de milho na presença ou ausência de inoculação com *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada de cobertura. **Agropecuária Catarinense**, [S. L.], v. 27, n. 2, p. 49-54, 2014. Disponível em: <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/RAC/article/view/572/476>. Acesso em: 29 jul. 2021.

YAMADA, Tsuioshi; ABDALLA, Silvia Regina Stipp e. Como melhorar a eficiência da adubação nitrogenada do milho? **Informações Agronômicas**, Patafos, Piracicaba, v. 91, p. 1-5, set. 2000. Disponível em: [http://www.ipni.net/PUBLICATION/IA-BRASIL.NSF/0/816B649F7310266383257AA3006954F5/\\$FILE/Jornal%2091.pdf](http://www.ipni.net/PUBLICATION/IA-BRASIL.NSF/0/816B649F7310266383257AA3006954F5/$FILE/Jornal%2091.pdf). Acesso em: 20 jul. 2021.