

UNICESUMAR – UNIVERSIDADE CESUMAR
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS TECNOLÓGICAS E AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CAMPI MARINGÁ

**INOCULAÇÃO DE *Azospirillum brasilense* NA CULTURA DO MILHO: ALIANDO
PRODUTIVIDADE E SUSTENTABILIDADE**

DIOGO GLAUCO FERNANDES JÚNIOR
EDUARDO HENRIQUE GALHERI QUEIROZ

MARINGÁ – PR

2021

Diogo Glauco Fernandes Júnior
Eduardo Henrique Galheri Queiroz

**INOCULAÇÃO DE *Azospirillum brasilense* NA CULTURA DO MILHO: ALIANDO
PRODUTIVIDADE E SUSTENTABILIDADE**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em
Agronomia da UNICESUMAR –
Universidade Cesumar como requisito parcial
para a obtenção do título de Bacharel em
Agronomia, sob a orientação da Prof.^a Dra.
Francielli Gasparotto.

MARINGÁ – PR

2021

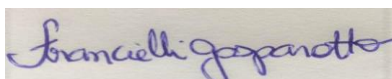
FOLHA DE APROVAÇÃO
DIOGO GLAUCO FERNANDES JÚNIOR
EDUARDO HENRIQUE GALHERI QUEIROZ

**INOCULAÇÃO DE *Azospirillum brasilense* NA CULTURA DO MILHO: ALIANDO
PRODUTIVIDADE E SUSTENTABILIDADE**

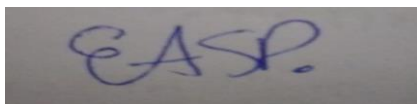
Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia da UNICESUMAR –
Universidade Cesumar como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em
Agronomia, sob a orientação da Prof.^a Dra. Francieli Gasparotto.

Aprovado em: 10 de novembro de 2021.

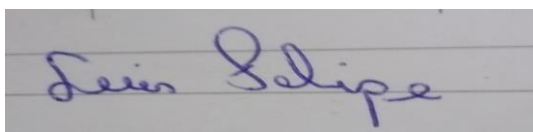
BANCA EXAMINADORA



Prof.^a. Dr.^a. Francieli Gasparotto - Unicesumar- Universidade Cesumar



Prof.^a. Dr.^a Edneia Aparecida de Souza Paccola- Unicesumar- Universidade Cesumar



Eng. Agrônomo Luis Felipe Magri de Angelo

INOCULAÇÃO DE *Azospirillum brasilense* NA CULTURA DO MILHO: ALIANDO PRODUTIVIDADE E SUSTENTABILIDADE

Diogo Glauco Fernandes Júnior
Eduardo Henrique Galheri Queiroz

RESUMO

A redução do emprego de fertilizantes, em especial, os fertilizantes nitrogenados, sem que a cultura do milho sofra decréscimos acentuados de produtividade é uma necessidade crescente. Deste modo, objetivou-se avaliar a eficiência da inoculação via sulco de plantio com a bactéria *Azospirillum brasilense* no desenvolvimento e produtividade de plantas de milho do híbrido P3310 VYHR. A pesquisa foi desenvolvida em Maringá-PR, conduzida em delineamento em blocos casualizados, com cinco tratamentos e cinco repetições, sendo os tratamentos: T1: 67 kg.ha⁻¹ de Nitrogênio em cobertura; T2: 67 kg.ha⁻¹ Nitrogênio em cobertura + inoculação com *Azospirillum brasilense*; T3: 42 kg.ha⁻¹ de Nitrogênio em cobertura + inoculação com *Azospirillum brasilense*; T4: 17 kg.ha⁻¹ de Nitrogênio em cobertura + inoculação com *Azospirillum brasilense*. T5: apenas inoculação com *Azospirillum brasilense*. Foram avaliados os seguintes parâmetros: comprimento das raízes, comprimento das plantas, peso de mil grãos, produtividade e retorno econômico. A inoculação com *Azospirillum brasilense* via sulco de plantio associada à dose de 67 kg.ha⁻¹ de Nitrogênio em cobertura proporcionou um aumento de cerca de 10,48% (3,72 sacas.ha⁻¹), resultando em um maior retorno econômico, maior comprimento das raízes e da altura das plantas. E a inoculação com *Azospirillum brasilense* via sulco de plantio associada à dose de 42 kg.ha⁻¹ de Nitrogênio em cobertura possibilitou reduzir em 25% a aplicação de fertilizantes nitrogenados. Assim, verificou-se que a aplicação de *Azospirillum brasilense* via sulco de plantio auxilia na sustentabilidade da produção agrícola, favorecendo no incremento de produtividade e redução do emprego de fertilizantes nitrogenados.

Palavras-chave: Bactérias diazotróficas. Insumo biológico. *Zea mays*.

INOCULATION OF *Azospirillum brasilense* IN CORN CULTURE: COMBINING PRODUCTIVITY AND SUSTAINABILITY

ABSTRACT: Reducing the use of fertilizers, especially nitrogen fertilizers, without the corn crop suffering sharp decreases in productivity is a growing need. Thus, the objective was to evaluate the efficiency of inoculation via planting furrow with the bacterium *Azospirillum brasilense* in the development and productivity of corn plants of the hybrid P3310 VYHR. The research was developed in Maringá-PR, conducted in a randomized block design, with 5 treatments and 5 replications. The treatments being: T1: 67 kg of N in coverage; T2: 67 kg of N in coverage + inoculation with *Azospirillum brasilense*; T3: 42 kg/ha of N in top dressing + inoculation with *Azospirillum brasilense*; T4: 17 kg/ha of N in top dressing + inoculation with *Azospirillum brasilense*. T5: only inoculation with *Azospirillum brasilense*. The following parameters were evaluated: root length, plant length, weight of a thousand grains, yield and economic return. Inoculation with *Azospirillum brasilense* via the planting furrow associated with a dose of 67 kg.ha⁻¹ of nitrogen in topdressing provided an increase of about 10.48% (3.72 sacks.ha⁻¹), a greater economic return, greater root length and plant height. And the inoculation with *Azospirillum brasilense* via the planting furrow associated with a dose of 42 kg.ha⁻¹ of nitrogen in topdressing made it possible to reduce by 25% the application of nitrogen fertilizers. Thus, it was found that the application of *Azospirillum brasilense* via the planting furrow helps in the sustainability of agricultural production, helping to increase productivity and reduce the use of nitrogen fertilizers.

Keywords: Diazotrophic bacteria. Biological input. *Zea mays*.

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays L.*) pertence à família *Gramineae/Poacea*, sendo uma das principais espécies cultivadas no Brasil, fazendo parte da base da alimentação animal e humana, além de ser utilizada no processo de produção do etanol. Estima-se que na safra 2020/21 a área cultivada no país seja de, aproximadamente 19,4 milhões de hectares, com produtividade média de 5.543 kg.ha⁻¹ e produção em torno de 108 milhões de toneladas (CONAB, 2021), sendo o país o 3º maior produtor mundial.

Para que altas produtividades sejam atingidas nesta cultura, entre outros fatores, faz-se necessário o aumento na quantidade de fertilizantes aplicados, principalmente fertilizantes nitrogenados, uma vez que o N (Nitrogênio) é o nutriente mais extraído pela cultura e sua aplicação em cobertura assegura incrementos na produtividade (COELHO, 2006). Coelho e França (1995), evidenciam que para a cultura do milho atingir uma produtividade de 5800 kg de grãos por hectare, faz-se necessária a aplicação de 100 kg de N por hectare.

Porém, o emprego de fertilizantes nitrogenados apresenta limitações econômicas relacionadas ao seu alto custo, visto que seu preço está atrelado ao dólar, principalmente por utilizar do petróleo como fonte para síntese de amônia, além da dependência externa, uma vez que o país importa 70% dos fertilizantes a base de Nitrogênio (SANTOS; NOGUEIRA; HUNGRIA, 2021), e perfazem em média 18% do custo de produção, elevando-o. Estes ainda são responsáveis por impactos ambientais, dado que para cada quilograma de fertilizante nitrogenado utilizado, são liberados na atmosfera aproximadamente 1,54 kg de gás carbônico (CO₂) (IPCC, 2018) e óxido nitroso (N₂O) (ROBERTSON; GRACE, 2004), gases responsáveis pelo aquecimento global e destruição da camada de ozônio (STEWART; LAL, 2017; HUNGRIA; NOGUEIRA, 2019).

Uma alternativa a fim de diminuir a quantidade de fertilizantes nitrogenados empregados na cultura do milho é a utilização de bactérias que realizam a fixação biológica

do Nitrogênio (CARMO et al., 2020), sendo uma alternativa sustentável a utilização dos fertilizantes nitrogenados (SANTOS; NOGUEIRA; HUNGRIA, 2021).

As bactérias fixadoras de Nitrogênio são denominadas *diazotróficas*, que possuem a capacidade de estabelecer uma associação com as plantas fornecendo-as Nitrogênio oriundo do processo de fixação biológica (KASCHUK; HUNGRIA 2017). Elas possuem capacidade de romper a tripla ligação dos átomos de Nitrogênio atmosférico (N_2), reduzindo o mesmo em NH_3 (amônia), por meio do complexo enzimático nitrogenase (HUNGRIA, 2011; KASCHUK; HUNGRIA 2017). O Gás Nitrogênio (N_2) constitui cerca de 78% dos gases componentes da atmosfera terrestre, porém, nenhuma planta ou animal consegue utilizá-lo como nutriente na forma elementar.

Para emprego na cultura do milho destacam-se as bactérias do gênero *Azospirillum*, sendo consideradas bactérias *diazotróficas* associativas (não simbióticas), que realizam a colonização da *rizosfera* das plantas, suprimindo parcialmente as exigências da cultura, em função de excretarem apenas uma parte do Nitrogênio fixado. Essas bactérias são consideradas como promotoras de crescimento de plantas (BPCP), podendo favorecer a síntese de *fitormônios*, principalmente *auxinas*, *giberelinas* e *citocininas* (LIN et al., 2012); maior desenvolvimento de raízes laterais (DUCA et al., 2014); conseqüentemente maior absorção de água e nutrientes, o que favorecem seu desenvolvimento e a produtividade da cultura (RONDINA et al., 2020), além da indução da tolerância a estresses abióticos e bióticos (CEREZINE et al., 2016).

A inoculação com estripes de *Azospirillum brasilense* (Ab-V5 e Ab-V6) vem sendo estudada há anos na cultura do milho, HUNGRIA et al., (2010) conduziram nove ensaios referentes a inoculação via sulco com nove cepas de *Azospirillum brasilense* realizadas nas cidades paranaenses de Londrina e Ponta Grossa. Nestes experimentos verificou-se um acréscimo de 24 a 30% na produtividade da cultura quando comparada ao tratamento sem a aplicação dessas bactérias.

Entretanto, estes ganhos variam de acordo com o local onde a cultura é produzida, condições climáticas durante a condução da cultura e com o híbrido de milho utilizado. Assim, na busca por informações que possam permitir um maior aproveitamento dessa técnica, principalmente para pequenos e médios produtores da região noroeste do Paraná, são necessários estudos que avaliam esta técnica nesta região e com os híbridos cultivados nela.

Deste modo, objetivou-se avaliar a eficiência da inoculação via sulco de plantio com a bactéria *Azospirillum brasilense* no desenvolvimento e produtividade de plantas de milho do híbrido P3310 VYHR.

2 DESENVOLVIMENTO

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental da Universidade Cesumar (Unicesumar), localizada no município de Maringá-PR (23°20'37,2"S 51°52'38,7"W). O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com cinco tratamentos e cinco repetições, assim dispondo de 25 parcelas experimentais. Cada parcela foi constituída por uma área de 20 m² (5 m x 4 m), com 1 metro entre as parcelas para facilitar os respectivos manejos.

Os tratamentos foram compostos por: T1- 67 kg de N em cobertura (100% da dose de Nitrogênio); T2- 67 kg de N em cobertura + inoculação com *Azospirillum brasilense* no sulco de plantio (100% da dose de Nitrogênio); T3- 42 kg/ha de N em cobertura + inoculação com *Azospirillum brasilense* no sulco de plantio (75% da dose de Nitrogênio); T4- 17 kg/ha de N em cobertura + inoculação com *Azospirillum brasilense* no sulco de plantio (50% da dose de Nitrogênio); T5- sem adubação de cobertura + inoculação com *Azospirillum brasilense* no sulco de plantio (33% da dose de Nitrogênio).

Na adubação de base foi utilizado o formulado N-P-K 10-15-15, na dosagem de 333 kg.ha⁻¹, sendo essa o padrão para todos os tratamentos. O híbrido empregado foi o P3310 VYHR (PIONEER), tendo como principal característica o ciclo superprecoce, variando de 120 a 130 dias, possui moderada tolerância a ferrugem comum (*Puccinia sorghi*) e aos enfezamentos (*Corn stunt*). O mesmo conta com as tecnologias Leptra®, Herculex®, LibertyLink®, Agrisure Viptera® e Roundup Read™ o que lhe garante tolerância ao princípio ativo *glifosato* e as principais lagartas que atacam a cultura. Foram dispostas 2,25 sementes por metro linear, com o espaçamento de 0,45 m entre linhas, resultando numa população de 50.000 plantas por hectare.

O plantio ocorreu por meio de uma semeadora/adubadora, de forma direta, ou seja, sobre a palhada e sem o revolvimento de solo. O processo de inoculação adotado foi via sulco, em que as estirpes de *Azospirillum brasilense* foram depositadas diretamente no sulco de plantio, por meio do sistema de inoculação instalado na semeadora/adubadora. Utilizou-se de inoculante líquido contendo as estirpes de *Azospirillum brasilense* (1x10¹¹ UFC.L⁻¹) na dosagem de 100 ml.ha⁻¹.

Na adubação de cobertura foi utilizado a ureia como fonte de Nitrogênio (45%), sendo aplicada de forma manual no estágio vegetativo V₄ de acordo com a recomendação para cada tratamento.

A colheita foi realizada de forma manual no estágio (R₆), quando os grãos estavam com umidade em torno de 15%. As espigas foram debulhadas por uma trilhadeira movida a energia, nas quais foram arrancadas as palhas de todas as espigas a fim de evitar perdas no processo de debulha.

Andrade et al. (2006), relatam que para um desenvolvimento ideal da cultura, são necessários de 400 a 700 mm de água ao longo do ciclo do milho. Entretanto, no experimento a taxa de precipitação pluviométrica foi de apenas 131,1 mm, sendo mal distribuídas, devido que uma semana após o plantio só foi registrada uma nova precipitação 40 dias depois, acarretando num veranico bem acentuado.

Foram analisadas as seguintes variáveis:

- Altura de plantas (AP): as plantas foram medidas com o auxílio de uma trena milimétrica, aferindo o comprimento da planta desde a superfície do solo até a extremidade do pendão (cm).

- Comprimento de raízes (CR): as plantas foram medidas com auxílio de uma trena milimétrica, sendo realizadas no estágio V₄ e R₁ (cm).

- Produtividade (PROD) e peso de mil grãos (PMG): para avaliação da produtividade nos respectivos tratamentos, foram colhidas 7 linhas de cada parcela experimental, sendo as duas linhas laterais consideradas como bordadura, além de 0,50 m de cada extremidade, resultando numa área útil de 12 m². Após a colheita de cada parcela foram aferidas suas respectivas massas e mensurada sua umidade, peso de mil grãos, sendo os dados de produção das parcelas expressos em kg.ha⁻¹.

- Retorno econômico (R): para análise financeira foi considerado a produtividade da área, o custo da adubação nitrogenada em cobertura, o custo da inoculação e a lucratividade obtida em moeda monetária nacional (R\$). No dia 20 de outubro de 2021, a saca de milho de 60kg no mercado nacional estava sendo cotada a R\$ 89,00. A ureia utilizada em cobertura teve variação de custo em função das diferentes quantidades utilizadas nos tratamentos, porém a tonelada da mesma estava cotada a R\$ 2.400,00 na data do plantio. O custo para aplicação das estirpes de *Azospirillum brasilense* foi de R\$ 18,00 por hectare.

Com base nos valores de produtividade e custo de produção, foi realizado o cálculo de retorno econômico (R) de acordo com a equação de adaptada de Donato e Bonaldo (2013).

$$R = ((P_{trat} - P_{test}) \times M) - C$$

Em que:

P_{trat}: produtividade em cada tratamento com aplicação de N em cobertura, sc.ha⁻¹.

Ptest: produtividade do tratamento sem aplicação de N em cobertura, sc.ha⁻¹.

M: preço da saca de milho

C: custo de cada tratamento.

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de Tukey (P<0,05) para comparação entre as médias, assim analisando se há diferença estatisticamente entre os resultados. As análises de variância serão realizadas com o auxílio do programa estatístico SISVAR®.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os parâmetros avaliados o comprimento médio das raízes no estágio V₄ apresentou diferença significativa pelo teste F, dado que os tratamentos ficaram distribuídos em dois grandes grupos: as plantas com maior comprimento de raiz ocorreram nos tratamentos com a aplicação de estirpes de *Azospirillum brasilense* via sulco de plantio (tratamentos 2, 3, 4 e 5), sendo que nestes tratamentos não houve diferença significativa entre si, as plantas com menor comprimento de raízes ficaram distribuídas apenas no tratamento que não recebeu estirpes de *Azospirillum brasilense* via sulco de plantio (T1).

Na literatura existem alguns trabalhos confirmando que a inoculação com estirpes de *Azospirillum brasilense* produz fitohormônios que auxiliam no crescimento das raízes de algumas plantas, inclusive as plantas de milho. Tien, Gaskins, Hubbell, (1979), por exemplo, relatam que *Azospirillum brasilense* estimula o crescimento das raízes pela liberação do ácido indol-acético (AIA), giberelinas e citocininas. Alguns autores alegam que essas bactérias favorecem um maior desenvolvimento do sistema radicular (DUCA et al., 2014), tendo elas uma maior capacidade de absorção de água e nutrientes, favorecendo um maior desenvolvimento e produtividade da cultura, quando comparada a um controle sem utilização do *Azospirillum* (RONDINA et al., 2020).

Tabela 1: Valores médios de comprimento de raiz (CR) nos estádios V₄ e R₁, altura de plantas (AP), peso de mil grãos (PMG) e produtividade (PROD) kg.ha⁻¹.

Trat. ¹	CR em V ₄ ²	CR em R ₁	AP (m)	PMG (g)	PROD (kg.ha ⁻¹)
T1	22,84 b	39,60 c	1,91 c	181,47 a	2.130,82 a
T2	25,70 a	42,38 a	2,08 a	189,08 a	2.354,16 a
T3	25,30 a	40,96 b	2,03 ab	172,91 a	2.072,04 a

T4	25,24 a	38,64 c	2,02 b	172,55 a	1.967,70 a
T5	25,18 a	37,44 d	1,90 c	168,75 a	1.898,40 a

¹Tratamentos: T1- 333 kg.ha⁻¹ do formulado 10-15-15 + 148,8 kg.ha⁻¹ de Uréia; T2- 333 kg.ha⁻¹ do formulado 10-15-15 + 148,8 kg.ha⁻¹ de Uréia + *Azospirillum brasilense* via sulco de plantio; T3- 333 kg.ha⁻¹ do formulado 10-15-15 + 93,3 kg.ha⁻¹ de Uréia + *Azospirillum brasilense* via sulco de plantio; T4- 333 kg.ha⁻¹ do formulado 10-15-15 + 37,77 kg.ha⁻¹ de Uréia + *Azospirillum brasilense* via sulco de plantio; T5- 333 kg.ha⁻¹ do formulado 10-15-15 + *Azospirillum brasilense* via sulco de plantio

²Médias iguais nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p<0,05)

A altura média das plantas apresentou diferenças significativas, as plantas com maior altura ocorreram nos tratamentos com 100% da dose de N associada a inoculação (T2) e no tratamento com 75% da dose de N associada a inoculação (T3), as plantas com menor altura ocorreram nos tratamentos sem a presença da inoculação (T1) e no tratamento com a menor dose de N (T5). Já no tratamento 3 as plantas obtiveram altura intermediária (Tabela 1).

Radwan; Mohamed; Reis (2004), salientam que as bactérias do gênero *Azospirillum* apresentam alta capacidade de produção do ácido *indol-lacético* (AIA), uma vez que este hormônio desempenha um papel de grande importância no crescimento das plantas.

Segundo alguns autores, este aumento significativo na altura das plantas está relacionado a alguns fatores como a capacidade de fixação biológica das bactérias do gênero *Azospirillum* (HUERGO et., al 2008), a produção de hormônios como a *citocinina*, *giberelina* e ácido *indol-acético* (TIEN, GASKINS, HUBBELL, 1979), e por estas bactérias atuarem como agentes de controle biológico de patógenos (CORREA et al., 2008).

Quanto a produtividade, verificou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos pelo teste F, este fato pode estar relacionado ao estresse ambiental que as plantas em todos os tratamentos sofreram, devido ao déficit hídrico, uma vez que ao longo do ciclo da cultura a precipitação pluviométrica foi de apenas 131,1 mm, sendo a taxa de precipitação pluviométrica ideal de 400 a 700 mm ao longo do ciclo da cultura (ANDRADE et al., 2006), além da ocorrência de geadas o que pode ter comprometido seu desenvolvimento, o que resultou numa produtividade média de 34,74 sacas por hectare.

De forma semelhante Cavalcanti; Franco; Reis (2020), relatam que avaliando a inoculação de *Azospirillum brasilense* associada a diferentes doses de fertilizante nitrogenado não observaram resultados expressivos sob a produtividade da cultura do milho no ano de 2016 em seus experimentos e discutem que a falta de resposta pode estar ligada de forma direta com o déficit hídrico acentuado, sofrido pelas plantas em tal experimento.

Mesmo não ocorrendo diferenças significativas quanto a produtividade entre os tratamentos, a inoculação com *Azospirillum brasilense* associada a adubação de cobertura

com 100 kg.ha^{-1} de N (T2) propiciou um aumento de 3,72 sacas por hectare, quando comparado ao tratamento que recebeu a mesma adubação, porém sem a inoculação de *Azospirillum brasilense* (T1), resultando num aumento de produtividade de cerca de 10,48%.

Este fato se dá principalmente pela capacidade das bactérias do gênero *Azospirillum* estabelecerem uma associação com as plantas e fornecerem nitrogênio, oriundo do processo de fixação biológica (KASCHUK; HUNGRIA, 2017), maior aproveitamento dos fertilizantes nitrogenados, principalmente quando aplicado ureia (MARTINS et al., 2018), uma vez que o nitrogênio é o nutriente mais extraído pela cultura (COELHO, 2006).

Hungria et al. (2010), conduziram experimentos com inoculação via sulco de nove cepas de *Azospirillum brasilense*, estes foram realizados nas cidades paranaenses de Londrina e Ponta Grossa, e verificou-se um acréscimo de 24 a 30% na produtividade da cultura de milho quando comparada ao tratamento sem a aplicação destas bactérias. As diferenças observadas quanto ao incremento de produtividade entre esta pesquisa e os resultados descritos pelos autores, possivelmente estão relacionadas a diferença edafoclimática dos ambientes, aos diferentes híbridos utilizados e as condições adversas que assolaram o mediante experimento.

Neste sentido, Araújo et al. (2013) e Szilagyi-Zecchin; Marriel e Silva (2017), observaram que a resposta do processo de inoculação sofre variação, em função da interação do ambiente com a planta e da cepa utilizada no processo. Além do incremento de produtividade, alguns estudos relatam a possibilidade da redução do emprego de fertilizantes nitrogenados em cobertura sem que a cultura apresente decréscimos de produtividade significativos.

Ferreira et al. (2019), verificaram no município de Sinop–MT que em algumas condições edafoclimáticas específicas, foi possível reduzir em 25% a aplicação de fertilizantes nitrogenados em cobertura, sem que a cultura apresentasse uma queda drástica de produtividade.

No experimento houve uma diferença de apenas 0,98 sacas por hectare de grãos, quando comparados os tratamentos 1 (T1 com 100% da dose de N, sem inoculação) e tratamento 3 (T3 com 75% da dose de N + inoculação), essa diferença representa apenas 2,83%, o que mostrou que nesta condição edafoclimática e com este híbrido, foi possível reduzir em até 25% a aplicação de fertilizantes nitrogenados, sem que a cultura sofresse quedas acentuadas de produtividade. Esta redução garante uma diminuição dos custos por parte do produtor, uma vez que a utilização de fertilizantes nitrogenados soma os maiores

custos do processo produtivo em culturas não leguminosas (NUNES et al., 2015), além de contribuir com o meio ambiente garantindo a sustentabilidade do sistema produtivo.

Mesmo a inoculação com *Azospirillum brasilense* possibilitar incrementos de produtividade, bem como a possibilidade de redução do emprego de fertilizantes nitrogenados, a inoculação dificilmente conseguirá suprir totalmente as exigências das plantas em nitrogênio, uma vez que se tratam de bactérias associativas, que excretam apenas parte do nitrogênio fixado. Hungria et.al (2010), salienta que estas bactérias não sejam aplicadas de forma isolada, mas sim em combinação com fertilizantes nitrogenados em cobertura.

No experimento o tratamento 5 (T5) apresentou a menor produtividade, tendo um resultado cerca de 12,2% menor quando comparada ao tratamento com a utilização de 100% da dose de N (T1), destacando que somente a inoculação sem a utilização de fertilizantes nitrogenados em cobertura não garante produtividades satisfatórias.

Ao realizar a análise de retorno econômico de cada um dos tratamentos em relação ao tratamento sem a aplicação de Nitrogênio em cobertura (T5) (Tabela 2), observou-se que a aplicação de 67 kg.ha⁻¹ de Nitrogênio (148,8 kg.ha⁻¹ de Uréia) associada a inoculação no sulco de plantio com estirpes de *Azospirillum brasilense*, proporcionou um retorno econômico de R\$ 300,21 ao produtor, mesmo este tratamento sendo o de maior custo (R\$ 375,3). Este tratamento quando comparado ao tratamento sem a aplicação de Nitrogênio em cobertura (T5), proporcionou um aumento de 7,59 sacas por hectare.

Em relação ao tratamento com aplicação de 67 kg de N (T1), seu retorno econômico não justificou o seu custo de aplicação de modo que foi obtido a menor rentabilidade, cerca de - R\$ 12,87. Este tratamento apresentou pouco acréscimo de produtividade, sendo de 2,83% quando comparado tratamento com aplicação de 42 kg de N em cobertura associado a inoculação (T3), e este obteve uma rentabilidade de R\$ 15,31.

Tabela 2: Retorno econômico da cultura do milho submetida a diferentes tratamentos.

Trat. ¹	Custo.ha⁻¹ (R\$)	Produtividade (sacas.ha⁻¹)	Retorno Econômico (R\$)
T1	R\$ 357,3	35,51	- R\$ 12,87
T2	R\$ 375,3	39,23	R\$ 300,21
T3	R\$ 241,9	34,53	R\$ 15,31
T4	R\$ 108,6	32,8	- R\$ 5,36
T5		31,64	

¹Tratamentos: T1- 333 kg.ha⁻¹ do formulado 10-15-15 + 148,8 kg.ha⁻¹ de Uréia; T2- 333 kg.ha⁻¹ do formulado 10-15-15 + 148,8 kg.ha⁻¹ de Uréia + *Azospirillum brasilense* via sulco de plantio; T3- 333 kg.ha⁻¹ do formulado 10-15-15 + 93,3 kg.ha⁻¹ de Uréia + *Azospirillum brasilense* via sulco de plantio; T4- 333 kg.ha⁻¹ do formulado 10-15-15 + 37,77 kg.ha⁻¹ de Uréia + *Azospirillum brasilense* via sulco de plantio; T5- 333 kg.ha⁻¹ do formulado 10-15-15 + *Azospirillum brasilense* via sulco de plantio.

²Preço da saca de milho- R\$ 89,00

³ Preço do inoculante contendo estirpes de *Azospirillum brasilense* R\$ 180 por Litro

⁴ Preço a da Uréia no mês do plantio R\$ 2.400,00 a tonelada.

Mesmo o tratamento 1 apresentando uma diferença de produtividade de 8,26% para o tratamento com aplicação de 17 kg.ha⁻¹ de N em cobertura associado a inoculação (T4), em função da baixa produtividade ocasionada pelo baixo índice pluviométrico ao longo do desenvolvimento da cultura, a taxa de retorno econômico foi inferior a este tratamento, uma vez que o seu custo com adubação de cobertura foi cerca de 229% maior quando comparado ao tratamento 4.

Assim, a aplicação de *Azospirillum brasilense* via sulco de plantio apresenta-se como uma alternativa para auxiliar na sustentabilidade da produção agrícola, proporcionando um sistema de produção que garante uma boa relação entre as plantas e microrganismos, auxiliando no incremento de produtividade e redução do emprego de fertilizantes nitrogenados, uma vez com esta redução têm-se uma menor quantidade de liberação de gás carbônico e óxido nitroso, gases estes responsáveis pelo aquecimento global e destruição da camada de ozônio (STEWART; LAL, 2017; HUNGRIA; NOGUEIRA, 2019).

3 CONCLUSÃO

A inoculação com *Azospirillum brasilense* via sulco de plantio conjugada com a dose de 67 kg.ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura (T2) proporcionou um maior desenvolvimento das plantas, no comprimento das raízes e na altura das plantas, resultando um aumento da produtividade de cerca de 10,48% (3,72 sacas por hectare) quando comparada ao tratamento com a mesma adubação, porém sem a inoculação (T1). Além de proporcionar o maior retorno econômico de R\$ 300,21 enfatizando que a inoculação via sulco de plantio de *Azospirillum brasilense* é uma alternativa rentável ao produtor.

A inoculação com *Azospirillum brasilense* via sulco de plantio conjugada com a dose de 42 kg.ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura (T3) possibilitou reduzir em 25% a aplicação de fertilizantes nitrogenados em cobertura, sem a cultura apresentar decréscimos significativos

de produtividade, se baseando assim numa tecnologia sustentável, uma vez que esta redução permite a mitigação de gases responsáveis pela destruição da camada de ozônio e causadores do efeito estufa, auxiliando assim na diminuição de impactos ambientais.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, C. L. T; PEREIRA, P. E. A; BRITO, R. A. L; RESENDE, M. Viabilidade e Manejo da Irrigação da Cultura do Milho. **EMBRAPA Circular Técnica 85**. Sete Lagoas-MG. Dezembro. 2006 Disponível em:
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/490417/1/Circ85.pdf>
- ARAÚJO, F. F. FOLONI, J. S. S; WUTZKE, M; MELEGARI, A. S ; RACK, E. Híbridos e variedades de milho engendrados à inoculação de sementes com *Herbaspirillum seropedicae*. **Seminário: Ciências Agrárias**. 34: p.1043-1054. 2013.
- CARMO, K. B; BERBERII, G. C. M.; BOURSCHEIDTIII, M. L. B.; GARCIAI, M. N.; SILVA, A. F.; FERREIRA, A. Desempenho agrônomo do milho safrinha em resposta a doses de nitrogênio combinadas com inoculante biológico em Mato Grosso. **Scientific Electronic Archives**, v.13, n.7, p.95-101. 2020. Disponível em:
 <<https://doi.org/10.36560/13720201163>>
- CAVALCANTI, G. A; FRANCO, L. S; REIS, V. M. Rendimento de grãos de milho inoculado com bactérias diazotróficas com aplicação de fertilizantes nitrogenado. **Scientific Electronic Library Online**. 2020. Disponível em:
 <<https://www.scielo.br/j/rcaat/a/NfKz9r7MKrzDGTfd4fLWTGf/?lang=en>>
- CEREZINE, P; KUWANO, B. H.; SANTOS, M. B.; TERASSI, F.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Strategies to promote early nodulation in soybean under drought. **Field Crops Research**, v.196, p.160-7. 2016. Disponível em:
 <<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.06.017>>
- COELHO, A.M. **Nutrição e adubação do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo. Circular técnica, 78. 10p. 2006. Disponível em:
 <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/490410/1/Circ78.pdf>>
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. Nutrição e adubação In: **Seja o doutor do seu milho**. 2. ed. aum. Piracicaba: POTAFOS. p.1-9. 1995. (Arquivo do Agrônomo, 2).
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Safra 2020/21**: sexto levantamento. 2021. Disponível em:
 <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>

CORREA, O.S.; ROMERO, A.M.; SORIA, M.A.; DE ESTRADA, M. *Azospirillum brasilense* -plant genotype interactions modify tomato response to bacterial diseases, and root and foliar microbial communities. In: CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (Ed.) *Azospirillum sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina*. Argentina: **Asociación Argentina de Microbiología**. 1.ed., p.87-95. 2008.

DONATO, F. V.; BONALDO, S. M. Avaliação de diferentes fungicidas no controle de doenças foliares no milho na região norte de Mato Grosso. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.17; p.375-384. 2013.

DUCA, D.; LORV, J.; PATTEN, C. L.; ROSE, D.; GLICK, B. R. Ácido indol-3-acético nas interações planta-micróbio. **Antonie van Leeuwenhoek**, v.106, p.85-125. 2014. <<https://doi.org/10.1007/s10482-013-0095-y>>

FERREIRA, A.; BOTIN, A. A.; ALVES, B. R. R.; BEHLING, M.; ARAGÃO, R. R. R.; CARNEIRO, B. P.; FERREIRA, A. N. Fixação biológica de nitrogênio em gramíneas e leguminosas no estado do Mato Grosso. Embrapa Agrossilvipastoril. **Primeiras contribuições para o desenvolvimento de uma agropecuária sustentável**. Brasil. Capítulo 9. 2019.

HUERGO, L.F.; MONTEIRO, R.A.; BONATTO, A.C.; RIGO, L.U.; STEFFENS, M.B.R.; CRUZ, L.M.; CHUBATSU, L.S.; SOUZA, E.M.; PEDROSA, F.O. Regulation of nitrogen fixation in *Azospirillum brasilense*. In: CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. *Azospirillum sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina*. **Asociación Argentina de Microbiología**. Argentina. p.17-35. 2008.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Tecnologias de inoculação na cultura da soja: Mitos, verdades e desafios. **Boletim**. Rondonópolis-MT. p.50-62. 2019.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant Soil**. v.331, p.413–425. 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11104-009-0262-0>>

HUNGRIA, M. Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a um baixo custo. Londrina: **Embrapa Soja**. 36p. 2011. Disponível em: Documentos - Embrapa Soja, ISSN 1516-781X; n.325.

IPCC 2018. Aquecimento global a 1,5 °C, Resumo para formuladores de Políticas. **Genebra, Organização Mundial**. p.1-32. 2018.

KASCHUK, G.; HUNGRIA, M. Diversity and Importance of Diazotrophic Bacteria to Agricultural Sustainability in the Tropics. In: AZEVEDO, J.; QUECINE, M. **Diversity and Benefits of Microorganisms from the Tropics**. Springer, Cham. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-55804-2_12>

LIN, L.; LI, Z.; HU, C.; ZHANG, X.; CHANG, S.; YANG, L.; LI, Y.; AN, Q. Plant Growth-Promoting Nitrogen-Fixing Enterobacteria Are in Association with Sugarcane Plants Growing

in Guangxi, China. **Microbes and Environments**, v.27, issue 4, p.391-398. 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1264/jsme2.ME11275>>

MARTINS, M. R.; JANTALIA, C. P.; REIS V. M.; DOWICH, I.; POLIDORO, J. C.; ALVES, B. J.; BODDEY, G. R. M.; URQUIAGAU, S. Impact of plant growth-promoting bacteria on grain yield, protein content, and urea-15 N recovery by maize in a Cerrado Oxisol. **Plant and Soil** 422: p.239–250. 2018.

NUNES, P. H. M. P.; AQUINO, L. A.; SANTOS, L. P. D.; XAVIER, F. O.; DEZORDI, L. R.; Assunção NS. Produtividade do trigo irrigado submetido à aplicação de nitrogênio e à inoculação com *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 39: p.174-82. 2015.

RADWAN, T. E. E.; MOHAMED, Z. K.; REIS, V. M. Efeito da inoculação de *Azospirillum* e *Herbaspirillum* na produção de compostos indólicos em plântulas de milho e arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, DF, v.39, n.10, p.987-994. 2004.

ROBERTSON, G. P.; GRACE, P. R. Greenhouse Gas Fluxes in Tropical and Temperate Agriculture: The Need for a Full-Cost Accounting of Global Warming Potentials. In: WASSMANN R., VLEK P.L.G. (eds) Tropical Agriculture in Transition - Opportunities for Mitigating Greenhouse Gas Emissions. **Springer, Dordrecht**. p.51-63. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-94-017-3604-6_3>

RONDINA, A. B. L.; SANZOVO, A.W.S.; GUIMARÃES. G. S.; WENDLING, J.R.; NOGUEIRA, M.A; HUNGRIA, M. Changes in root morphological traits in soybean co-inoculated with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense* or treated with *A. brasilense* exudates. **Biol Fertil Soils**, v.56, p.537–549. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00374-020-01453-0>>

SANTOS, M. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Outstanding impact of *Azospirillum brasilense* strains Ab-V5 and Ab-V6 on the Brazilian agriculture: Lessons that farmers are receptive to adopt new microbial inoculants. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.45, e0200128, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.36783/18069657rbc20200128>>

SZILAGYI-ZECCHIN, VJ; MARRIEL, IE; SILVA, PRF Produtividade de milho inoculado com *Azospirillum brasilense* em diferentes doses de nitrogênio cultivado em campo no Brasil. **Revista Ciências Agrárias**, 40: p.795-798. 2017.

STEWART, B.A.; LAL, R. The nitrogen dilemma: Food or the environment. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.72, n.6, 124A-128A. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.2489/jswc.72.6.124A>>

TIEN, T.M.; GASKINS, M.H.; HUBBELL, D.H. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). **Applied and Environmental Microbiology**, v.37, p.1016-1024. 1979.