

REVISTA

DIALÓGO E INTERAÇÃO

ISSN 1275-3687

19

NÚMERO 1



FACCREI

FIXAÇÃO BIOLÓGICA NA CULTURA DO MILHO

BIOLOGICAL FIXATION IN CORN CULTIVATION

FIJACIÓN BIOLÓGICA EN EL CULTIVO DE MAÍZ

Josiane Aparecida Aragão Soares*

José Fernando Delgado**

RESUMO: Mediante a importância da cultura do milho para manutenção do país, discussões são levantadas corriqueiramente em relação a esta cultura, pois, é necessário que a qualidade e equilíbrio no consumo interno e externo do grão seja mantido ou potencializado para que o Brasil continue se destacando neste ramo do mercado. Deste modo, notou-se que mesmo sendo uma cultura adaptável o plantio do híbrido encontra desafios na lavoura, entre eles a carência de alguns nutrientes essenciais para seu crescimento, como o nitrogênio, precisando que este nutriente seja acrescido à planta de forma biológica. Deste modo o presente trabalho teve como objetivo geral investigar de que forma a utilização da bactéria *Azospirillum brasilense* atua no fornecimento de nitrogênio por meio da FBN (Fixação Biológica do Nitrogênio) utilizando para isto uma metodologia bibliográfica norteada por livros, teses e artigos científicos encontrados nos principais referenciais de busca como Google Acadêmico, Scielo, Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD), na Associação Brasileira das Indústrias do Milho e na Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Ao final o estudo comprovou que mesmo não sendo uma solução mágica e atuando em conjunto com a genética da planta e solo o *Azospirillum* age através do fortalecimento da raiz da planta ajudando-a a extrair o melhor do solo para seu crescimento saudável, além de apresentar diversos benefícios para a mesma como crescimento foliar e aumento na quantidade de grãos.

Palavras-chave: *Azospirillum Brasilense*. Milho. Fixação Biológica. Nitrogênio na lavoura

ABSTRACT: Given the importance of maize cultivation for the country's sustainability, discussions are frequently raised regarding this crop, as it is essential to maintain or enhance the quality and balance of domestic and international grain consumption for Brazil to continue standing out in this market sector. In this context, it was observed

*Estudante do Curso de Agronomia da Faculdade Cristo Rei – FACCREI. E-mail: aragaojosiane22@gmail.com

** Mestre em Agronomia. Universidade Estadual do Norte do Paraná – UENP/CLM. Docente do curso de Agronomia da Faculdade Cristo Rei – FACCREI. E-mail: jfdelgado77@gmail.com

that even though maize is an adaptable crop, the planting of hybrids faces challenges in the field, among them the lack of essential nutrients for its growth, such as nitrogen, which needs to be supplied to the plant through biological means. Thus, the main objective of this study was to investigate how the use of the bacterium *Azospirillum brasilense* contributes to nitrogen supply through BNF (Biological Nitrogen Fixation), using a bibliographic methodology based on books, theses, and scientific articles found in major search databases such as Google Scholar, Scielo, the Digital Library of Theses and Dissertations (BDTD), the Brazilian Association of Corn Industries, and the National Supply Company (CONAB). In the end, the study confirmed that although it is not a magical solution and depends on the plant and soil genetics, *Azospirillum* acts by strengthening the plant's roots, helping it extract the best from the soil for healthy growth. Additionally, it brings several benefits, such as increased leaf growth and grain yield.

Keywords: *Azospirillum brasilense*, Maize, Biological Fixation, Nitrogen in Agriculture

RESUMEN: Dada la importancia del cultivo del maíz para el sostenimiento del país, se plantean frecuentemente debates en torno a este cultivo, ya que es necesario mantener o potenciar la calidad y el equilibrio en el consumo interno y externo del grano para que Brasil continúe destacándose en este sector del mercado. En este contexto, se observó que, aunque se trata de un cultivo adaptable, el cultivo de híbridos enfrenta desafíos en el campo, entre ellos la carencia de algunos nutrientes esenciales para su crecimiento, como el nitrógeno, lo que requiere que este nutriente sea incorporado a la planta de forma biológica. De este modo, el presente trabajo tuvo como objetivo general investigar de qué manera la utilización de la bacteria *Azospirillum brasilense* actúa en el suministro de nitrógeno a través de la FBN (Fijación Biológica de Nitrógeno), utilizando para ello una metodología bibliográfica basada en libros, tesis y artículos científicos encontrados en los principales referentes de búsqueda como Google Académico, Scielo, la Biblioteca Digital de Tesis y Disertaciones (BDTD), la Asociación Brasileña de las Industrias del Maíz y la Compañía Nacional de Abastecimiento (CONAB). Al final, el estudio comprobó que, aunque no es una solución mágica y actúa en conjunto con la genética de la planta y del suelo, *Azospirillum* fortalece las raíces de la planta, ayudándola a extraer lo mejor del suelo para un crecimiento saludable. Además, ofrece diversos beneficios como el crecimiento foliar y el aumento en la cantidad de granos.

Palabras clave: *Azospirillum brasilense*, Maíz, Fijación Biológica, Nitrógeno en el cultivo.

1 INTRODUÇÃO

Historicamente a cultura do milho é ligada a história do Brasil desde que o país foi descoberto. Além de servir de base para produção de ração, garante segurança alimentar e movimenta exportação do grão.

Devido a sua importância para manutenção do país, mensalmente a Comissão Nacional de Cereais Fibras e Oleaginosas, discutem acerca de políticas públicas e propostas voltadas para esta cultura, pois, é necessário que a qualidade e equilíbrio no consumo interno e externo do grão seja mantido ou potencializado para que o Brasil continue se destacando neste ramo do mercado (Senar, 2016).

Segundo Pizol (2024, p. 25):

A produção deste grão encontra alguns desafios que comprometem sua produtividade e consequentemente sua rentabilidade para o produtor e para a economia nacional, como por exemplo, os fatores climáticos, o manejo do solo, as pragas e doenças e a uniformidade do estande emergindo a necessidade de se utilizar abordagens integradas de manejo para ter uma produção vantajosa. Indo mais a fundo nos dados acerca da importância deste grão verifica-se que aproximadamente 70% de toda plantação de milho do mundo tem como finalidade a alimentação de animais, de modo que dentro do território brasileiro essa finalidade consoma entre 60 a 80% do plantio, sem mencionar sua importância na alimentação humana nas regiões mais pobres do país.

Já para Hungria, Prando e Nogueira (2014), a partir de tais problemas foi verificou-se que a utilização de microrganismos para a estimulação do crescimento vegetal seja uma alternativa vantajosa trazida pela tecnologia para melhorar a produtividade agrícola e proteger o meio ambiente, uma vez que tem o poder de mitigar a emissão de gases do efeito estufa e de contribuir para diminuição de efeitos ligados a mudança climática. A partir de leituras iniciais verificou-se que o *Azospirillum Brasilense* tem a capacidade de criar diversos hormônios que estimulam o crescimento da cultura, agindo fortemente em suas raízes e fixando biologicamente o nitrogênio necessário para o crescimento saudável da vegetação.

Deste modo o presente estudo tem como objetivo geral investigar de que forma a utilização da bactéria *Azospirillum brasilense* atua no fornecimento de nitrogênio por meio da FBN (Fixação biológica do nitrogênio). Para que tal objetivo seja alcançado os objetivos específicos visam apresentar a cultura do milho, analisar as características da composição da bactéria *Azospirillum brasilense* e apresentar os benefícios para a planta em decorrência da utilização da bactéria.

2. A NECESSIDADE DE NITROGÊNIO NAS LAVOURAS

É de conhecimento comum que o nitrogênio é essencial para o crescimento saudável das plantas, uma vez que participa ativamente de processos fisiológicos fundamentais. Em sistemas agrícolas, esse nutriente geralmente é fornecido pelo solo; no entanto, sua disponibilidade natural nem sempre é suficiente para atender às necessidades das culturas, o que exige suplementação externa. Assim, esta seção busca detalhar a importância do nitrogênio, bem como sua utilização correta nas culturas, de forma a maximizar o desempenho produtivo.

Dentro da agricultura, especialmente nos sistemas de plantio, desenvolvimento vegetativo e colheita, o nitrogênio (N) é considerado um dos elementos mais importantes da natureza. Isso se deve ao fato de que ele é componente fundamental de proteínas e ácidos nucleicos, essenciais para a saúde e produtividade das plantas. Para alcançar um bom desempenho agrícola, é imprescindível que os nutrientes estejam disponíveis em doses adequadas, suprimindo as carências nutricionais de cada cultura (Lang *et al.*, 2011).

Ao buscar compreender a ação do nitrogênio nas lavouras, é necessário adotar uma visão sistêmica, considerando fatores como o momento da aplicação, a época do ano e o sistema produtivo. A aplicação adequada em plantios de inverno e verão, bem como sua utilização em sistemas de pastagem ou integração lavoura-pecuária, influencia diretamente os resultados da safra (Sandini *et al.*, 2011).

Dada a elevada exigência de nitrogênio por parte da cultura do milho, especialmente em solos de baixa fertilidade, diversas pesquisas foram realizadas na

tentativa de encontrar soluções eficientes e economicamente viáveis. Com a dificuldade de desenvolver híbridos altamente eficientes na absorção de N, tornou-se fundamental buscar alternativas que favorecessem o metabolismo desse macronutriente, mesmo diante de condições ambientais adversas (Morais, 2012).

Estudos apontam que a demanda de nitrogênio pela cultura do milho é tão elevada que, para produzir uma tonelada de grãos, um híbrido necessita incorporar aproximadamente 25 kg de N por hectare, sendo essa necessidade ainda mais crítica em outras culturas (Ferreira et al., 2019, p. 110). Apesar de sua relevância, esse nutriente muitas vezes não está disponível em quantidades suficientes no solo, exigindo ações suplementares por parte dos produtores (Lang *et al.*, 2011).

Por essa razão, as doses, épocas e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados vêm sendo amplamente estudados, especialmente em sistemas de semeadura direta. Além de atender às exigências nutricionais da cultura atual, esses estudos também consideram os efeitos residuais da adubação sobre cultivos subsequentes no mesmo solo (Sandini *et al.*, 2011).

No Brasil, as condições climáticas favoráveis permitem a realização de até três safras ao ano em determinadas regiões, o que intensifica o uso do solo e acentua a necessidade de técnicas sustentáveis, como a fixação biológica do nitrogênio (FBN), que promove a presença de microrganismos benéficos ao sistema produtivo (Hungria; Nogueira, 2024).

Ainda que a adubação nitrogenada seja vista como uma solução eficiente, sua aplicação excessiva ou mal planejada pode comprometer a qualidade do produto final, sobretudo no milho. Isso porque interfere diretamente no rendimento do híbrido, sendo considerada uma prática de risco quando há escassez de nitrogênio de origem orgânica, que é naturalmente mais eficiente na potencialização da cultura (Lang *et al.*, 2011).

Outro fator importante a ser considerado é que, assim como as culturas agrícolas, plantas daninhas também competem por nitrogênio. Algumas espécies invasoras se beneficiam da adubação nitrogenada, o que exige atenção e

planejamento por parte do produtor, embora nem todas apresentem sensibilidade ao nutriente (Ferreira *et al.*, 2019).

Um dado relevante é que o Brasil é líder mundial na utilização da FBN. Ainda que os resultados sejam satisfatórios tanto para a cultura da soja quanto do milho, estudos mostram que cerca de 80% da área cultivada com soja no país já utiliza essa tecnologia, demonstrando maior resposta dessa leguminosa ao processo (Hungria; Nogueira, 2024).

Para alcançar uma produtividade em larga escala, é necessário atender a três requisitos básicos relacionados ao uso de N: aplicação direta no sulco de plantio, respeito ao tempo ideal de uso e adoção de doses corretas e racionais. Essas exigências reforçam a importância de um olhar técnico e contínuo sobre o manejo do nutriente (Luvizutto; Lopes; Lima, 2024).

2.1 AZOSPIRILLUM BRASILENSE

Graças ao advento da tecnologia muitas soluções práticas para a lavoura foram desenvolvidas, uma delas foi o *Azospirillum Brasilense*, um forte aliado do produtor rural nas mais variadas culturas. Deste modo a presente seção trará um pouco mais deste produto, apresentando sua criação, composição e benefícios.

Visando suprir necessidades do solo e das plantas a ciência desenvolveu o sistema de inoculação biológica, onde por meio de microrganismos benéficos e indispensáveis para o crescimento da vegetação garantem seu crescimento saudável. A inoculação para ser feita é desenvolvida em laboratório por meio de estrutura recomendada, padronizada e tecnológica contendo os mesmos princípios das raízes das plantas aos quais irá atuar (Luvizutto; Lopes; Lima, 2024).

Buscando uma solução inteligente para o cultivo do milho a Embrapa, através de sua tecnologia desenvolveu a inoculação de *Azospirillum Brasilense* com objetivo de potencializar a lavoura reduzindo seus custos, aumentando o rendimento das culturas através de sua ação na raiz da planta (Souza, 2025).

Com seu primeiro produto comercial lançado em 2009 o inoculante foi objeto de diversos estudos pelo Brasil, presente em instituições de ensino e pesquisa tentando descobrir mais sobre seu potencial de modo que atualmente mais de 10 milhões de doses sejam vendidas todos os anos superando as expectativas de seus desenvolvedores no momento de sua criação (Hungria; Nogueira, 2024).

Mediante tal criação é preciso pontuar que o solo é formado por microrganismos, macrofauna e demais substâncias que em conjunto possibilitam a realização do plantio, crescimento e colheita vantajosa e para ter um solo com condições adequadas inclui-se a utilização de inoculantes para ajustar a estrutura física, biológica e química do solo (Luvizutto; Lopes; Lima, 2024).

Dentre todos os microrganismos capazes de fixar N “as espécies do gênero *Azospirillum* constituem um dos grupos mais estudados” sendo foco de estudos sua ecologia, genética e fisiologia por notarem que seus microrganismos comportam uma quantidade maior de bactérias simbióticas e associativas (Morais, 2012, p. 8).

Em linhas gerais, a bactéria *Azospirillum brasilense* caracteriza-se como um microrganismo do grupo das rizobactérias promotoras de crescimento de plantas, comumente associada a gramíneas, como milho, trigo e arroz. Sua relevância está relacionada à capacidade de promover o crescimento vegetal por meio de múltiplos mecanismos, como a fixação biológica de nitrogênio (FBN), a produção de fitormônios e a solubilização de fosfatos (Hungria *et al.*, 2010).

Com uma grande importância econômica e ambiental no território brasileiro os rizóbios, dos quais o *A. brasilense* é composto são responsáveis por fixar biologicamente o nitrogênio em quantidade adequada para “obter altos rendimentos no caso de grãos, biomassa no caso de forragem, enriquecimento do solo em nitrogênio no caso de adubos verdes e crescimento no caso de árvores” atuando em mais de 100 leguminosas (Hungria; Nogueira, 2024).

Considera-se que sua ação nas gramíneas é fundamental para facilitar a absorção de nutrientes que possibilitarão o crescimento de suas raízes, contudo, este processo já existe a alguns anos tendo sido aprimorado ao longo dos anos graças ao melhoramento genético de ambas (Luvizutto; Lopes; Lima, 2024).

Segundo Souza (2025, p. 10): “no momento de sua criação a proposta para esta bactéria seria que uma vez realizada a inoculação em plantios em terra firme o *Azospirillum* fosse capaz de economizar ao produtor 20 kg de nitrogênio por hectare, apresentando ao produtor um rendimento maior do que 104%”.

Caracterizada por ser uma bactéria Gram-negativa, com formato espiralado ou ligeiramente curvado em bastonete o *Azospirillum* pode atingir o comprimento de 1,0 a 3,0 μm de comprimento e apresenta um ou mais flagelos polares ou laterais, o que lhe confere alta motilidade (Bashan; Bashan, 2010).

Dentro de sua estrutura a membrana externa apresenta proteínas específicas de porina, que permitem a troca seletiva de íons e moléculas pequenas, além de receptores específicos que participam da comunicação com as plantas (Fukami *et al.*, 2018).

Ao analisar a composição bioquímica de *A. brasilense* encontra-se uma variedade de compostos orgânicos e inorgânicos que desempenham papéis funcionais na sua atividade promotora de crescimento vegetal. Dentre os principais metabólitos, destacam-se:

- Ácidos orgânicos, como ácido málico e ácido cítrico, que participam da solubilização de fosfatos insolúveis no solo;
- Produção de fitormônios, como auxinas (principalmente ácido indolacético – AIA), citocininas e giberelinas, que influenciam diretamente a morfologia radicular das plantas
- Exopolissacarídeos (EPS), fundamentais para a formação de biofilmes na rizosfera e para a proteção contra o estresse hídrico;
- Enzimas antioxidantes, como catalases e peroxidases, que contribuem para a proteção celular contra espécies reativas de oxigênio (ERO). (DROST *et al.*, 2017);

As análises de tais compostos demonstram como este inoculante é um fixador completo e potente para buscar o bem da produção da lavoura, apresentando a planta

muito mais do que um benefício, mas um complexo deles, envolvendo-a como um todo.

De acordo com Souza (2025): “esta bactéria funciona captando o ar e fixando-o na planta através de processos biológicos, uma vez que o nitrogênio é o principal nutriente para o crescimento das plantas e os mais custosos para os produtores, emergindo assim esta solução capaz de fixar o nutriente de forma natural e com baixo custo”.

(Hungria; *et al.*, 2010, p. 36): “olhando para a produção de auxinas, por exemplo, nota-se que esta depende da presença de precursores como o triptofano no meio rizosférico. Esta bactéria apresenta a capacidade de sintetizar essas substâncias entre cepas, sendo influenciada por fatores ambientais como pH, disponibilidade de nutrientes e sinalização planta-microrganismo”.

Ao analisar seu genoma nota-se um cromossomo circular principal e diversos plasmídeos, que contêm genes envolvidos na fixação de nitrogênio, produção de fitormônios e resistência ao estresse sendo, dentre todos e o sistema nif o mais estudado de seus sistemas, pois, codifica as enzimas responsáveis pela fixação do nitrogênio atmosférico em amônia (Kang *et al.*, 2020).

Além disso, genes reguladores como os pertencentes ao sistema luxR/luxI participam de processos de *quorum sensing*, essenciais para a formação de biofilmes e para a adaptação da bactéria a diferentes condições ambientais. Estima-se que esta bactéria consegue ajustar sua expressão gênica de forma altamente plástica em resposta a estímulos da rizosfera (Massotti; Vieira, 2020).

Em relação à capacidade da fixação biológica de N apresentada pelo A. Brasilense pontua-se que não é equivalente à do rizóbio, onde neste inoculante específico supre-se cerca de 10 a 25% das carências dos cereais, mas mesmo com esta taxa o produto tem a capacidade de suprir o que um sistema produtivo necessita (Hungria; Nogueira, 2024).

Segundo Luvizutto; Lopes; Lima (2024), o importante é saber que a utilização apresenta benefícios de acordo com a cultura que é utilizada sendo necessária a compreensão de que a mesma aplicação na soja e no milho pode não trazer os

mesmos resultados, pois, a composição de ambas é diferente e muitas vezes uma planta carece de mais nutrientes do que a outra.

Para mais dos benefícios para com a planta o *Azospirillum* traz ainda benefícios para o meio ambiente, uma vez que no momento de sua utilização cria-se a emissão de gases do efeito estufa é mitigado e é possível realizar a troca da utilização de fertilizantes químicos (Souza, 2025).

Talvez o ponto mais alto das vantagens do *A. brasilense* para os produtores é que “o investimento que necessita realizar para o mesmo é considerado modesto quando relacionando ao seu retorno” tendo em vista o cuidado necessário com as raízes e boas práticas de produção (Luvizutto; Lopes; Lima, 2024, p. 7).

Considera-se que esta bactéria seja capaz de potencializar significativamente as lavouras as quais é utilizada, uma vez que pesquisas científicas apontaram uma potencialização em pontos fotossintéticos das plantas, tendo melhora na clorofila, na altura da planta, na condutância estomática, na biomassa e no potencial hídrico (Morais, 2012).

Dentro deste cenário é preciso pontuar que algumas estirpes atuam de formas diferentes então quando se recorre a uma seleção de duas estirpes analisando AB-V5 traz um maior potencial para fixar biologicamente N. e Ab-V6 apresenta facilidade para produzir fitohormônio ácido indol acético para crescimento radicular (Hungria; Nogueira, 2024).

Um importante adendo é que assim como supracitado na subseção anterior a utilização da inoculação deve ser feita através de um olhar clínico, pois, para que o

A. brasilense apresente benefícios à lavoura o produtor precisa ter boas práticas de manejo, caso contrário o resultado pode não ser como o esperado (Luvizutto; Lopes; Lima, 2024).

Para que sejam colhidos os benefícios prometidos faz-se necessário que se atente a boas práticas de inoculação como:

Usar inoculantes registrados no Mapa, que estejam no prazo de validade;

Verificar as condições de transporte, armazenamento (<32°C no caso do *A. Brasilense*) e, na hora da semeadura, proteger o inoculante e as sementes inoculadas do sol e do calor;

Usar a dose indicada para cada microrganismo; não inocular na caixa da semeadora; garantir a distribuição homogênea nas sementes;

Para melhorar a aderência dos inoculantes turfosos às sementes, inocular usando solução açucarada a 10%; Não semear “no pó”; Se fizer o tratamento químico de sementes, aplicar inoculante em segunda operação e jamais fazer “sopão”; No caso de uso de sementes tratadas com químicos e semeadura em áreas de “primeiro ano”, e no de uso de sementes tratadas com químicos e pré inoculadas, redobrar os cuidados, pois as condições são muito favoráveis à morte rápida das células; também existe incompatibilidade entre produtos biológicos, portanto, informe-se sobre isso antes de misturar os produtos;

A inoculação no sulco é uma ótima alternativa para evitar problemas com a incompatibilidade entre químicos e biológicos nas sementes, porém, as doses dos inoculantes precisam ser ajustadas de acordo com a recomendação da pesquisa para cada microrganismo (Hungria; Nogueira, 2024).

Sabe-se que a um primeiro olhar a quantidade de cuidados pode parecer excessiva para uma utilização, contudo, ao olhar atentamente e pensando no cuidado com a lavoura nota-se que tais cuidados são básicos, principalmente quando se atenta a seus benefícios apresentados.

Deste modo, pode-se concluir a presente seção entendendo que através da utilização responsável o *A. Brasilense* é capaz de potencializar a lavoura fortalecendo a planta e fornecendo um dos nutrientes principais para seu crescimento com um baixo investimento em vista de seus benefícios.

2.2 *AZZOSPIRILLUM BRASILENSE* NA CULTURA DO MILHO

Figuerola et al. (2015) destacam que o desenvolvimento do *Azospirillum brasilense* no milho tem como objetivo principal o aumento da matéria seca, da

quantidade de grãos e da acumulação de nitrogênio nas plantas, especialmente naquelas com menor potencial tecnológico frente à oferta natural de N pelo solo.

Francisco et al. (2012) apontam que, ao reduzir a concentração de nitrato na raiz das plantas, o *Azospirillum* contribui significativamente para o crescimento vegetal. Isso ocorre porque a planta deixa de gastar energia na conversão de nitrato em amônia, direcionando essa energia para outros processos vitais ao seu desenvolvimento.

Hungria e Nogueira (2024) revelam que pesquisas iniciais comprovaram um aumento de aproximadamente 5,4% na produtividade de grãos e cerca de 12,2% no crescimento da massa radicular com o uso do inoculante. Tal avanço é significativo, visto que um sistema radicular mais desenvolvido implica maior capacidade de absorção de água, nutrientes e fertilizantes.

Figueroa et al. (2015) ainda explicam que esses benefícios decorrem da habilidade do inoculante em estimular o crescimento vegetal por meio da oferta de proteínas, fitocromos, enzimas e ácidos nucleicos, elementos que favorecem o desenvolvimento das raízes e a absorção eficiente de recursos do solo.

A Embrapa (2014) ressalta, contudo, que a eficácia do *A. brasilense* é mais expressiva em outras culturas do que no milho. Em determinadas regiões, sua contribuição pode ser limitada, pois o inoculante é capaz de suprir apenas parte das exigências nutricionais da cultura. Ainda assim, mesmo dentro de suas restrições, tem se mostrado uma ferramenta útil para os produtores.

Hungria e Nogueira (2024) relatam que um ensaio clínico com o objetivo de avaliar a viabilidade de combinar a fixação biológica de nitrogênio com o crescimento radicular demonstrou resultados promissores.

Após 30 ensaios realizados em 13 regiões distintas do Brasil, constatou-se uma expressiva potencialização da produção com o uso do *A. brasilense*, confirmando sua eficácia em diferentes contextos. A bibliografia nos apresenta a visão de que isto ocorre, pois o inoculante é capaz de:

Pela produção de fitormônios que estimulam o crescimento o crescimento das raízes. Com isso, as plantas absorvem melhor os

nutrientes do solo, têm um melhor aproveitamento dos fertilizantes utilizados, além de melhorar a capacidade de absorção de água, o que aumenta a tolerância à seca, entre outros benefícios (EMBRAPA, 2014, p. 2).

A tabela 1 abaixo reúne os principais resultados obtidos por diferentes estudos acerca da aplicação do inoculante *Azospirillum brasilense* na cultura do milho.

Local / Estudo	Aplicação	Resultados Observados	Fonte
Mato Grosso	5 aplicações via foliar no estádio V4, com inseticidas	Aumento da produtividade e maior teor de zinco nas folhas	Francisco et al., 2012
Diversas regiões do Brasil	Testes com estirpes Ab-V5 e Ab-V6	Redução de 25% na adubação nitrogenada e aumento de 3,1% na produtividade de grãos	Hungria; Nogueira, 2024
São Paulo (plântio direto)	5 aplicações nos híbridos MG593PWU, FS575PWU e P4285YHR	Resposta variada conforme o genótipo; MG593PWU teve melhor resposta	Silva, 2024
Santa Catarina (plântio direto)	4 aplicações com intervalo de 15 dias	Sem resultados significativos; genótipo e clima influenciaram	Figuerola et al., 2015
Rio Grande do Sul	3 aplicações em experimento controlado	Aumento nos teores de Mg, Ca, P, Fe, N, S nas folhas e aumento do peso da espiga	Pacheco et al., 2024
Geral (Brasil)	Uso combinado com adubação de base	Melhor eficiência geral do inoculante, fortalecimento da planta contra pragas e aumento da clorofila	Silva, 2024

Fonte: Próprio autor (2025)

Assim, verifica-se os efeitos positivos e as variações conforme as condições edafoclimáticas, genótipos e métodos de aplicação. De forma geral, observou-se que o uso das estirpes Ab-V5 e Ab-V6 proporcionou ganhos relevantes, como a redução de até 25% na necessidade de adubação nitrogenada e aumento na produtividade de grãos. Em estados como Mato Grosso e Rio Grande do Sul, os benefícios foram notáveis, incluindo maior absorção de nutrientes (zinco, nitrogênio, magnésio, fósforo, entre outros) e incremento no peso da espiga. Contudo, alguns estudos, como o realizado em Santa Catarina, não identificaram efeitos significativos, reforçando a importância da interação entre o inoculante, as características genéticas da planta e o ambiente. Dessa forma, a tabela confirma que A. *brasilense* não é uma solução isolada, mas um recurso promissor dentro de um manejo integrado para o fortalecimento radicular, absorção de nutrientes e aumento da produtividade do milho.

3 MÉTODOS

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa qualitativa de natureza bibliográfica, com foco na análise e interpretação de produções acadêmicas relacionadas à aplicação da bactéria *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. A coleta de dados foi realizada por meio de consulta a livros, teses, dissertações e artigos científicos disponíveis em bases de dados reconhecidas, como Google Acadêmico, Scielo, Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD), Associação Brasileira das Indústrias do Milho (ABIMILHO) e Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB).

4 DISCUSSÃO: DESAFIOS DA CULTURA DO MILHO NO BRASIL: SUSTENTABILIDADE, TECNOLOGIA E IMPACTOS AMBIENTAIS

O milho (*Zea mays L.*) é uma cultura de ampla importância no cenário agrícola brasileiro, com relevante presença histórica, econômica, social e nutricional. Originário da América e cultivado por povos indígenas muito antes da colonização europeia, o

grão foi incorporado às práticas agrícolas modernas, preservando ao mesmo tempo seu valor cultural e tradicional (EMBRAPA, 2021). Essa dualidade evidencia a capacidade do milho de transitar entre modelos produtivos distintos, desde a agricultura familiar até a produção intensiva empresarial.

A composição do milho justifica sua popularidade e seu alto valor agregado. Cada grão é constituído por endosperma, glúten, gordura, germe e película, sendo fonte significativa de energia e nutrientes, como amido, vitaminas A e do complexo B, proteínas, cálcio, ferro e fibras (ABIMILHO, 2025). Essa riqueza nutricional sustenta seu uso tanto na alimentação humana quanto animal, além da indústria farmacêutica e de biocombustíveis.

A versatilidade do *Zea mays L.* também se manifesta em sua capacidade de adaptação a diferentes condições edafoclimáticas, sendo cultivado em praticamente todas as regiões brasileiras. Destacam-se, em especial, os estados do Mato Grosso, Paraná, Goiás e Minas Gerais como maiores produtores (CONAB, 2023). No entanto, essa adaptabilidade não elimina a necessidade de condições ambientais favoráveis, como temperatura adequada, incidência solar, disponibilidade hídrica e manejo de solo. Fatores climáticos adversos, como baixas temperaturas, podem comprometer o desenvolvimento fisiológico da planta e, consequentemente, a produtividade (Wagas et al., 2021).

Apesar de sua expressiva produção nacional — cerca de 127 milhões de toneladas na safra 2022/2023 — e sua participação no PIB do agronegócio, o milho enfrenta desafios que vão desde as oscilações climáticas até a presença de pragas e doenças, exigindo o uso de tecnologias de cultivo, manejo eficiente e sementes geneticamente adaptadas (Eckardt et al., 2021). Os investimentos em pesquisa e melhoramento genético têm ampliado a plasticidade da planta, tornando possível sua expansão em ambientes variados (Morais, 2012).

No aspecto socioeconômico, o milho é uma cultura estratégica para pequenos e grandes produtores. Sua dupla aptidão — presença na primeira safra e na safrinha — favorece o aproveitamento de ciclos produtivos e a estabilidade da renda agrícola (Silber, 2021). Estimativas indicam que, nos próximos anos, haverá um crescimento

significativo na área plantada, especialmente voltada à produção de etanol e ração animal, sem desconsiderar a crescente demanda internacional (ABIMILHO, 2025).

Além do valor econômico, a cultura do milho também se destaca por sua relevância simbólica. Presente em festas tradicionais, na culinária regional e em práticas agrícolas ancestrais, o grão mantém seu papel cultural em muitas comunidades brasileiras (Altieri, 2012). Na agricultura familiar, predomina o uso de sementes crioulas e práticas agroecológicas, contribuindo para a preservação da diversidade genética e a sustentabilidade ambiental (Ferreira & Penteado, 2020).

Portanto, a análise integrada do milho permite compreender sua importância multifacetada: alimento essencial, matéria-prima industrial, fonte energética e elemento cultural. Diante disso, é necessário reforçar que o sucesso no cultivo depende de múltiplos fatores — desde insumos e clima até políticas públicas e tecnologias —, os quais serão aprofundados na subseção seguinte, dedicada aos desafios enfrentados por essa cultura. O milho (*Zea mays* L.) é uma cultura de ampla importância no cenário agrícola brasileiro, com relevante presença histórica, econômica, social e nutricional. Originário da América e cultivado por povos indígenas muito antes da colonização europeia, o grão foi incorporado às práticas agrícolas modernas, preservando ao mesmo tempo seu valor cultural e tradicional (EMBRAPA, 2021). Essa dualidade evidencia a capacidade do milho de transitar entre modelos produtivos distintos, desde a agricultura familiar até a produção intensiva empresarial.

A composição do milho justifica sua popularidade e seu alto valor agregado. Cada grão é constituído por endosperma, glúten, gordura, germe e película, sendo fonte significativa de energia e nutrientes, como amido, vitaminas A e do complexo B, proteínas, cálcio, ferro e fibras (ABIMILHO, 2025). Essa riqueza nutricional sustenta seu uso tanto na alimentação humana quanto animal, além da indústria farmacêutica e de biocombustíveis.

A versatilidade do *Zea mays* L. também se manifesta em sua capacidade de adaptação a diferentes condições edafoclimáticas, sendo cultivado em praticamente todas as regiões brasileiras. Destacam-se, em especial, os estados do Mato Grosso, Paraná, Goiás e Minas Gerais como maiores produtores (CONAB, 2023). No entanto,

essa adaptabilidade não elimina a necessidade de condições ambientais favoráveis, como temperatura adequada, incidência solar, disponibilidade hídrica e manejo de solo. Fatores climáticos adversos, como baixas temperaturas, podem comprometer o desenvolvimento fisiológico da planta e, conseqüentemente, a produtividade (Wagas et al., 2021).

Apesar de sua expressiva produção nacional — cerca de 127 milhões de toneladas na safra 2022/2023 — e sua participação no PIB do agronegócio, o milho enfrenta desafios que vão desde as oscilações climáticas até a presença de pragas e doenças, exigindo o uso de tecnologias de cultivo, manejo eficiente e sementes geneticamente adaptadas (Eckardt *et al.*, 2021). Os investimentos em pesquisa e melhoramento genético têm ampliado a plasticidade da planta, tornando possível sua expansão em ambientes variados (Morais, 2012).

No aspecto socioeconômico, o milho é uma cultura estratégica para pequenos e grandes produtores. Sua dupla aptidão — presença na primeira safra e na safrinha — favorece o aproveitamento de ciclos produtivos e a estabilidade da renda agrícola (Silber, 2021). Estimativas indicam que, nos próximos anos, haverá um crescimento significativo na área plantada, especialmente voltada à produção de etanol e ração animal, sem desconsiderar a crescente demanda internacional (ABIMILHO, 2025).

Além do valor econômico, a cultura do milho também se destaca por sua relevância simbólica. Presente em festas tradicionais, na culinária regional e em práticas agrícolas ancestrais, o grão mantém seu papel cultural em muitas comunidades brasileiras (Altieri, 2012). Na agricultura familiar, predomina o uso de sementes crioulas e práticas agroecológicas, contribuindo para a preservação da diversidade genética e a sustentabilidade ambiental (Ferreira & Penteado, 2020).

Portanto, a análise integrada do milho permite compreender sua importância multifacetada: alimento essencial, matéria-prima industrial, fonte energética e elemento cultural. Diante disso, é necessário reforçar que o sucesso no cultivo depende de múltiplos fatores — desde insumos e clima até políticas públicas e tecnologias —, os quais serão aprofundados na subseção seguinte, dedicada aos desafios enfrentados por essa cultura.

A cultura do milho é uma das mais importantes para o agronegócio brasileiro, gerando milhares de toneladas colhidas anualmente. No entanto, o sucesso produtivo esconde uma série de desafios que precisam ser enfrentados de forma estratégica. A planta sofre com estresses bióticos e abióticos que comprometem seu desenvolvimento e exigem cada vez mais intervenções químicas (Wagas *et al.*, 2021). Problemas fitossanitários, como pragas e insetos, lideram as preocupações dos agricultores, que recorrem ao uso intenso de agrotóxicos (Grutzmacher *et al.*, 2022).

Entretanto, esse modelo de produção intensiva tem gerado impactos negativos expressivos: contaminação de solos e águas, perda de biodiversidade, surgimento de plantas daninhas resistentes, e riscos à saúde humana (Ferreira & Penteado, 2020; Silva *et al.*, 2020). A discussão se intensifica diante da necessidade de racionalizar o uso de defensivos e investir em práticas sustentáveis, como o uso responsável de biofertilizantes, agentes biológicos e condicionadores de solo (Luvizutto *et al.*, 2024).

Além disso, o milho híbrido exige condições edafoclimáticas específicas. A má escolha da variedade, o uso de sementes não certificadas e a deficiência de nutrientes – especialmente o nitrogênio – resultam em lavouras desuniformes e pouco produtivas (Morais, 2012; Araújo *et al.*, 2014). Mesmo com o apoio da biotecnologia e da mecanização, é preciso reconhecer que o plantio extensivo e o modelo baseado em monoculturas trazem preocupações ambientais sérias, como a perda da diversidade genética e a escassez de água potável (FAPESP, 2023; Conceição *et al.*, 2024).

Diante disso, propõe-se a seguinte reflexão: Como equilibrar produtividade e sustentabilidade na cultura do milho?

Será que as tecnologias atuais realmente favorecem a preservação ambiental ou estão contribuindo para uma agricultura cada vez mais dependente de insumos externos e vulnerável a mudanças climáticas?

Qual o papel das políticas públicas na valorização de sementes crioulas e práticas agroecológicas no cenário atual? A cultura do milho é uma das mais importantes para o agronegócio brasileiro, gerando milhares de toneladas colhidas anualmente. No entanto, o sucesso produtivo esconde uma série de desafios que precisam ser enfrentados de forma estratégica. A planta sofre com estresses bióticos

e abióticos que comprometem seu desenvolvimento e exigem cada vez mais intervenções químicas (Wagas *et al.*, 2021). Problemas fitossanitários, como pragas e insetos, lideram as preocupações dos agricultores, que recorrem ao uso intenso de agrotóxicos (Grutzmacher *et al.*, 2022).

Entretanto, esse modelo de produção intensiva tem gerado impactos negativos expressivos: contaminação de solos e águas, perda de biodiversidade, surgimento de plantas daninhas resistentes, e riscos à saúde humana (Ferreira & Penteado, 2020; Silva *et al.*, 2020). A discussão se intensifica diante da necessidade de racionalizar o uso de defensivos e investir em práticas sustentáveis, como o uso responsável de biofertilizantes, agentes biológicos e condicionadores de solo (Luvizutto *et al.*, 2024).

Assim, o milho híbrido exige condições edafoclimáticas específicas. A má escolha da variedade, o uso de sementes não certificadas e a deficiência de nutrientes – especialmente o nitrogênio – resultam em lavouras desuniformes e pouco produtivas (Morais, 2012; Araújo *et al.*, 2014). Mesmo com o apoio da biotecnologia e da mecanização, é preciso reconhecer que o plantio extensivo e o modelo baseado em monoculturas trazem preocupações ambientais sérias, como a perda da diversidade genética e a escassez de água potável (FAPESP, 2023; Conceição *et al.*, 2024).

Diante disso, propõe-se a seguinte reflexão: Como equilibrar produtividade e sustentabilidade na cultura do milho?

Será que as tecnologias atuais realmente favorecem a preservação ambiental ou estão contribuindo para uma agricultura cada vez mais dependente de insumos externos e vulnerável a mudanças climáticas?

Qual o papel das políticas públicas na valorização de sementes crioulas e práticas agroecológicas no cenário atual?

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cultura do milho desempenha um papel fundamental na dinamização da economia nacional, tanto por sua presença constante na alimentação do brasileiro quanto pela expressiva participação nas exportações, sendo um grão rico em

possibilidades de mercado. Apesar de seus inúmeros benefícios, o cultivo do milho enfrenta diversos desafios no território brasileiro, relacionados às características do solo, práticas de plantio e condições de colheita. Tais dificuldades levam o agricultor a buscar soluções com base no conhecimento aprofundado de sua lavoura, visando alcançar resultados positivos em sua produção.

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo geral investigar de que forma a utilização da bactéria *Azospirillum brasilense* contribui para o fornecimento de nitrogênio por meio da Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN), uma vez que a deficiência desse nutriente é considerada uma das principais limitações ao bom desempenho das lavouras de milho (Hungria et al., 2010).

Após a abordagem inicial sobre a importância da cultura do milho, a demanda por nitrogênio e as características da bactéria *Azospirillum brasilense*, verificou-se que esse inoculante atua de maneira integrada com fatores edafoclimáticos, a biota do solo, práticas de adubação e a genética do híbrido utilizado. Dentre os benefícios observados, destacam-se o aumento no teor de clorofila da planta, o fortalecimento da raiz — o que melhora a absorção de água e nutrientes do solo —, maior tolerância a estresses abióticos, incremento no tamanho das espigas, maior quantidade de grãos por planta, robustez foliar e aumento da matéria seca (Bashan & de-Bashan, 2010).

No entanto, o estudo também ressaltou que, em determinadas condições, o desempenho do *A. brasilense* pode ser limitado por fatores externos, como o tipo de solo, clima e manejo inadequado. Ademais, foi enfatizado que o inoculante, embora traga benefícios significativos, especialmente por seu excelente custo-benefício, não é capaz de suprir todas as necessidades nutricionais da cultura do milho.

Concluído o objetivo proposto, sugere-se como continuidade desta pesquisa a realização de estudos voltados à identificação das carências específicas do milho que não são atendidas pela ação do *Azospirillum brasilense*, bem como a investigação de sua atuação em outras culturas agrícolas, visando compreender seu potencial em diferentes contextos produtivos.

REFERÊNCIAS

ALTIERI, Miguel A. Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável. 3. ed. São Paulo: Expressão Popular, 2012.

ARAÚJO, Raul Matos; et al. Resposta do milho verde à inoculação com *Azospirillum* brasileiro e níveis de nitrogênio. *Revista Ciência do Solo*, v. 44, n. 9, 2014.

BASHAN, Y.; BASHAN, L. E. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth—a critical assessment. *Advances in Agronomy*, v. 108, p. 77–136, 2010.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: grãos, safra 2022/23 – décimo segundo levantamento. Brasília: CONAB, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 23 maio 2025.

CONCEIÇÃO, Chaiane Guerra da; et al. Lâmina ótima econômica e o impacto de diferentes níveis de irrigação no crescimento e produtividade do milho. *Revista Observatório de la Economía Latinoamericana*, v. 22, n. 7, 2024.

DROST, S. M. et al. Auxin production by *Azospirillum* brasileiro and its role in the formation of bacterial-plant associations. *Plant and Soil*, v. 417, n. 1, p. 295–309, 2017.

ECKARDT, Marcio; et al. Divergência entre cultivares de milho transgênico e não transgênico sob cultivo no cerrado. *Revista Desafios*, v. 8, n. 3, 2021.

FERREIRA JUNIOR, Ricardo A.; et al. Eficiência do uso da radiação em cultivos de milho em Alagoas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*, v. 18, n. 3, 2014.

FERREIRA, Carla M.; PENTEADO, Silvio R. C. Milho crioulo: conservação e uso sustentável em sistemas agroecológicos. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 15, n. 2, p. 90-98, 2020.

FERREIRA, Evander Alves; et al. Fitossociologia de plantas daninhas na cultura do milho submetida à aplicação de doses de nitrogênio. *Revista de Agricultura Neotropical*, v. 6, n. 2, p. 109-116, 2019.

FUKAMI, J. et al. Plant growth-promoting bacteria: understanding their role in plant abiotic stress tolerance. *Agronomy*, v. 8, n. 12, p. 1–19, 2018.

HUNGRIA, M. et al. Inoculation of cereals with *Azospirillum* brasileiro: genetic and physiological bases. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 6, p. 1873–1890, 2010.

HUNGRIA, M.; PRANDO, A. M.; NOGUEIRA, M. A. Bactérias promotoras de crescimento: inoculação de milho com *Azospirillum brasilense*. Londrina: Embrapa, 2014.

HUNGRIA, Mariangela; NOGUEIRA, Marco Antonio. Inoculação do milho com *Azospirillum brasilense*, estirpes Ab-V5 e Ab-V6, permite redução de 25% na adubação nitrogenada de cobertura. *Revista Cultivar*, 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 23 mai. 2025.

KANG, Y. et al. Complete genome sequence of *Azospirillum brasilense* Sp245, a plant growth-promoting rhizobacterium. *Standards in Genomic Sciences*, v. 15, n. 1, p. 1–10, 2020.

LANG, Claudete Reisdorfer; et al. Integração lavoura-pecuária: eficiência de uso do nitrogênio na cultura do milho. *Scientia Agraria*, v. 12, n. 1, 2011.

LUVIZUTTO, Rafael; LOPES, Igor Natan Santana; LIMA, Ronaldo Pereira. A importância de inoculantes no sulco de plantio. *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro*, v. 11, 2024.