

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza

Etec Professor Francisco dos Santos

Técnico em Agropecuária

Uso de bactérias diazotróficas como alternativa a adubação nitrogenada

Camilly Vitória Silvério¹

Stefany de Souza Matias²

Diogo Boldrim³

Resumo:

Diversas culturas de plantio requerem o nitrogênio em alguma forma como amônia ou nitrato para seu desenvolvimento, para o fornecimento deste nutriente é comum a utilização de adubos e fertilizantes que o contenham, porém, a produção destes regularmente envolve o uso de combustíveis fósseis que produzem gases de efeito estufa tal como o dióxido de carbono, óxido nitroso e metano, a fim de reduzir estas emissões, o uso das bactérias diazotróficas permite que grande ou total parte do componente de nitrogênio necessário para diferentes culturas seja fornecido. O objetivo deste artigo é explorar esta aplicação das bactérias diazotróficas na agricultura, sendo utilizados recursos tais como artigos, dissertações, teses, vídeos etc., disponíveis publicamente, a este fim, é realizada uma exploração da teoria por trás da fixação biológica de nitrogênio, passando por introdução, metodologia, fundamentação, dados, resultados, considerações finais etc.. Em todo este processo, chamado de ciclo do nitrogênio, o nitrogênio é fixado, fornecido à planta e devolvido à atmosfera, pela ação de bactérias fixadoras de nitrogênio, bactérias nitrificantes e bactérias desnitrificantes, desta forma podendo ser captado novamente para utilização pelas culturas, sendo um ciclo viável e benéfico ao meio ambiente.

Palavras-chave: Diazotrófica; Bactéria; Planta; Fixação; Nitrogênio; Macronutrientes; Acidez; Biológico; Microrganismos.

¹ Aluna do curso Técnico em Agropecuária na Etec Prof. Francisco dos Santos. camilly.silverio@etec.sp.gov.br

² Aluna do curso Técnico em Agropecuária na Etec Prof. Francisco dos Santos. stefany.matias@etec.sp.gov.br

³ Aluno do curso Técnico em Agropecuária na Etec Prof. Francisco dos Santos. diogo.boldrim@etec.sp.gov.br

1 INTRODUÇÃO

As bactérias diazotróficas, também chamadas de Bactérias Fixadoras de Nitrogênio (BFN) são micro-organismos que exercem a capacidade de fixação do nitrogênio atmosférico, transformando-o em amônia ou outra molécula similar, sendo assim convertido a uma forma utilizável pelas plantas.

O artigo visa expor o possível uso destas bactérias como formas alternativas e suplementares para o fornecimento de nitrogênio às plantas, reduzindo ou eliminando a utilização de adubos e fertilizantes industriais nitrogenados altamente processados, desta forma permitindo o manejo sustentável das áreas de plantio, reduzindo impactos ambientais, emissões gasosas entre outros.

As bactérias diazotróficas exibem capacidade de redução dos impactos ambientais negativos do setor agrícola, como as emissões de gases durante a produção de fertilizantes, impactos negativos no solo devido a erosão, mal absorção de umidade etc., através da redução da demanda dos fertilizantes altamente processados que impactam, de forma negativa, o solo.

Adubação nitrogenada através de adubos altamente processados é mundialmente comum no plantio, exercendo grande influência na saúde de consumidores de produtos vindo destes locais.

Adubos nitrogenados são frequentemente utilizados e parte do componente nutricional deixa de ser absorvido pela cultura, desta forma, a contaminação de lençóis freáticos, o empobrecimento do solo e por consequência, a erosão, podem ocorrer. Portanto, o uso das bactérias diazotróficas em auxílio ou substituição do componente nitrogenado de diferentes fertilizantes pode servir como solução às deficiências destes, visto que o uso destas diminui ou elimina a quantidade de produto aplicado, permitindo que a retenção nutricional, biológica e hídrica do solo, assim como a resistência à erosão seja mantida, possivelmente reduzindo custos de produção no processo.

Para esse artigo, o método comparativo foi usado, sendo descrito por Fachin (2001) como um método caracterizado pela comparação de diferentes informações obtidas a fim de expor pontos congruentes nestas., este método, em conjunto com a metodologia de pesquisa bibliográfica permite que diferentes informações de fontes

reputáveis sejam coletadas e rapidamente comparadas, expondo de maneira objetiva os pontos análogos nestes recursos, esta metodologia, segundo Traina e Traina Júnior (2009), mantém o objetivo de identificar a mensagem destas fontes, assim como o que possibilitou a construção destas, como a motivação do trabalho, referências das próprias fontes etc., esta metodologia utilizada em conjunção com o método de pesquisa permite que sejam coletados amplos dados sobre o tema selecionado em um período eficaz.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Durante o trabalho, os contextos contemporâneos e históricos dos campos relacionados às bactérias diazotróficas como a história dos adubos e fertilizantes, destas bactérias, do solo brasileiro, assim como as características específicas destes campos devem ser explorados através de recursos disponibilizados por diferentes autores de fontes primárias, secundárias e terciárias. Após a investigação destes contextos e características, as aplicações e a utilidade destas bactérias devem ser investigadas, a fim de obter dados conclusivos sobre estas.

2.1 Parte histórica

2.1.1 Solos brasileiros comuns

O solo é criado a partir de fenômenos naturais como a erosão de rochas e a decomposição de seres vivos, desta forma, o solo há existido por um extenso período, com influências bióticas e abióticas influenciando a fertilidade e por extensão, a aptidão à plantação e cultivo deste (FREITAS, s/d.).

O solo brasileiro em específico foi influenciado pela fauna local, assim como os habitantes nativos, com tribos indígenas realizando o cultivo, criação de animais e a caça, ações que refletem diretamente no solo que sobre o qual habitavam, em específico, as terras pretas e os sambaquis que são exemplos de solos férteis criados devido a influência das tribos locais (DIAS, 2019).

Entretanto, grande parte dos solos brasileiros apresentam baixa retenção hídrica, alta acidez ou baixo componente nutricional, os Latossolos, Argissolos,

Planossolos e Vertissolos são todos exemplos de solos com algumas destas características, porém, exceções existem, como é o caso da Terra Roxa que é um tipo de Latossolo extremamente fértil criado a partir da decomposição de rochas basálticas, o Massapê que é um tipo de Vertissolo altamente fértil originado de rochas como gnaisses escuros, calcários e filitos e os Aluviais que são solos criados por depósitos decorrentes de inundações e correntes de rios, podendo ser altamente férteis em especial, nas várzeas (SANTOS, 2018; FREITAS, s/d.).

2.1.2 Adubação

A adubação tem origem chinesa, sendo realizada na região do rio amarelo em 8000 a.C. onde os chineses fabricavam adubos com resíduos vegetais ou animais, húmus dos rios e esterco humano (MULTITÉCNICA, 2018; CIBRA, 2023). Após a invenção desta prática, outras civilizações a desenvolveram ou utilizaram, com os Egípcios em 600 a.C. especificamente aproveitando as cheias do Nilo que depositavam em suas margens uma camada de húmus com elevada profundidade para cultivar cevada, trigo e lentilha. Alguns outros povos como os Andinas também desenvolveram e utilizaram a adubação por volta deste período a fim de promover melhor desenvolvimento dos produtos cultivados (PEREIRA, 2015).

A adubação se tornou um negócio na Idade Média, na região de Flandres da Bélgica, o uso de esterco animal, lixo humano e lodo de esgoto como adubo foi proliferado por todo o continente europeu de forma rápida devido à eficácia da prática (CIBRA, 2023).

A tese de Justus von Liebig de 1842 serviu como fundação da adubação, com a fórmula do NPK sendo descrita neste trabalho e a primeira fábrica de fertilizantes conhecida surgindo em 1843 na Inglaterra com a fabricação do superfosfato simples (MULTITÉCNICA, 2018; CIBRA, 2023).

2.1.3 Bactérias diazotróficas

A contribuição de Johanna Liesbeth Kubelka Döbereiner à adubação biológica e sua oposição à obrigatoriedade da adubação exclusivamente nitrogenada inspirada pela introdução da soja ao Brasil na década de 60 permitiu que o fossem

desenvolvidas tecnologias que reduziram custos de produção ao ponto de tornar-se possível o cultivo em escala maciça no Brasil por baixo custo, posicionando o país como um dos maiores produtores de soja do mundo (PERGON, 2024; WIKIPÉDIA, 2024).

Os inoculantes que foram desenvolvidos para o uso, se provaram extremamente úteis para agricultores ao redor do país, reduzindo a quantidade de fertilizantes utilizados como consequência e elevando a qualidade e escala de produção agrícola para diversas culturas. Como resultado do uso das bactérias, em específico a *Rhizobia*, parte das plantações brasileiras, especificamente de soja, não utilizam fertilizantes nitrogenados, dependendo completamente na capacidade das bactérias diazotróficas para realizar a fixação do azoto para as culturas (Jones, 2019).

2.2 Trabalho de pesquisa

2.2.1 Conteúdo nutricional dos solos

Os principais nutrientes utilizados pelas culturas de cultivo são divididos entre macronutrientes primários como Nitrogênio, Fósforo e Potássio e secundários como Cálcio, Magnésio e Enxofre e micronutrientes que são subdivididos entre metálicos como o Cobre, Ferro, Manganês, Molibdênio e Zinco e não-metálicos como o Boro e Cloro. A nomenclatura não é indicadora da taxa de nutrientes necessárias por todas as culturas, sendo que dependente das espécies utilizadas, variações no balanço nutricional destas podem ser observadas (MENDES, 2007).

O teor de acidez elevado causado pelo clima tropical e baixa fertilidade natural dos solos brasileiros devido às frequentes chuvas intensas que lavam grande parte dos componentes orgânicos e minerais dos solos, o que se prova prejudicial à agricultura (SOLO FÉRTIL, 2022).

Entre 68% e 72% da superfície brasileira é composta por solos com deficiências nutricionais e/ou hídricas com exceções existindo de acordo com fatores climáticos e regionais (CALPAR, 2018; NITAHARA, 2022).

Os Latossolos compõem cerca de 39% da superfície do país e possuem sete diferentes classes definidas, sendo solos minerais e não-hidromórficos, contendo

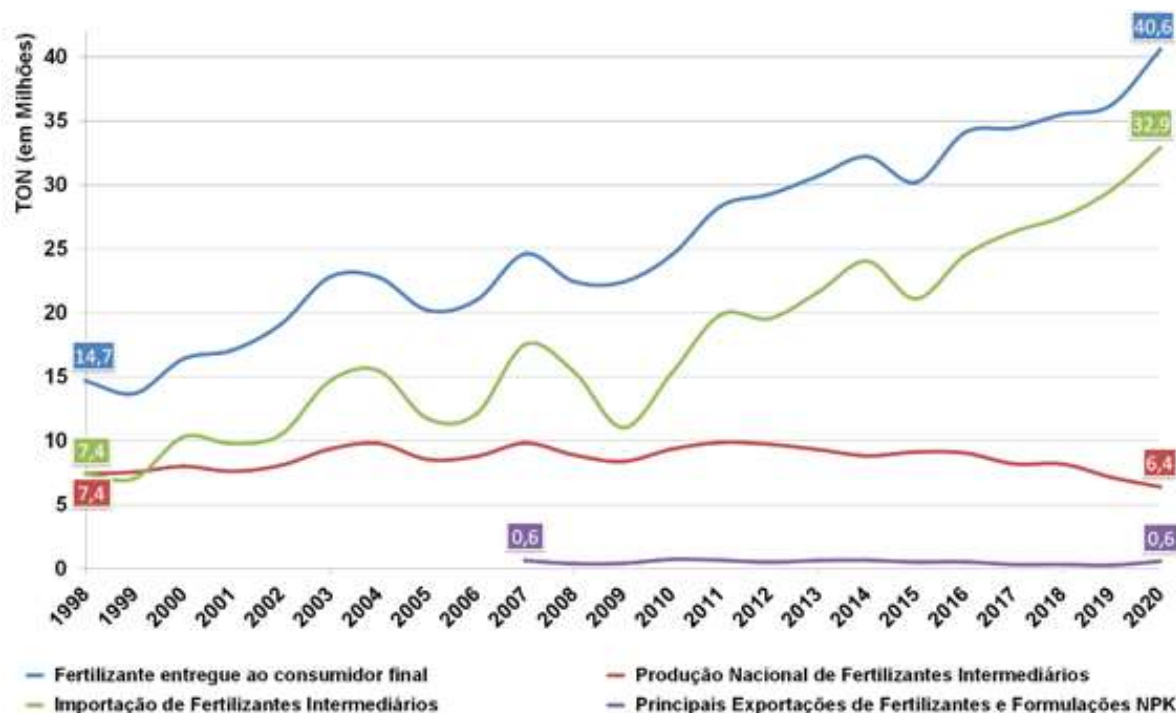
óxidos de ferro e de alumínio o que contribui para a toxicidade e acidez do solo, com pH entre 4,0 e 5,5 em média, a baixa reserva de nutrientes também é outro fator que contribui ao uso indevido de fertilizantes (SOUSA e LOBATO, 2021; ZARONI e SANTOS, 2021).

Compondo cerca de 24% da superfície brasileira, os Argissolos são eutróficos, distróficos ou álicos, o conteúdo de elementos bases como cálcio, magnésio e potássio e de alumínio variam assim como a susceptibilidade à erosão, de acordo com o tipo de solo, são recomendadas as práticas de conservação do solo para minimizar as chances de erosão e o uso de fertilizantes para a correção de deficiências nutricionais (CUNHA et al, 2021; SOUSA e LOBATO, 2021; ZARONI e SANTOS, 2021).

Os diferentes tipos de Neossolos compõem 15% da superfície territorial brasileira, estes foram formados recentemente quando comparados aos outros tipos de solo, possuindo conteúdos minerais e orgânicos baixos devido à reduzida expressão dos processos de formação do solo, seja pela recência de formação, pela resistência do material originador deste ou outros fatores, os tipos eutróficos possuem maior fertilidade natural e, por sua vez, requerem menor correção por fertilizantes, porém, o uso destes produtos ainda é realizado para os Neossolos com menor fertilidade natural (CUNHA et al, 2021; SOUSA e LOBATO, 2021; ZARONI e SANTOS, 2021).

Os baixos conteúdos nutricionais observados nos solos do país incentivam o uso de fertilizantes químicos a fim de corrigir o solo para o plantio, com o quarto maior consumo de fertilizantes nitrogenados no mundo sendo atribuído ao Brasil que importou 24,96 milhões de toneladas em 2018, com 35% do volume sendo composto por fertilizantes nitrogenados (BRASIL, 2020).

Figura 1: Aquisição e uso de fertilizantes no Brasil.



Fonte: Brasil, 2022.

2.2.2 Adubação nitrogenada

O nitrogênio é um macronutriente principal, sendo um componente essencial de proteínas, ácidos nucleicos, clorofila e metabólitos secundários, este é necessário para grande parte das culturas, proporcionando estimulação da taxa fotossintética, nutrição da mitocôndria, estímulo da clorofila e fornecimento de matéria prima para os aminoácidos (MENDES, 2007).

O nitrogênio pode ser encontrado naturalmente no solo na forma de matéria-orgânica, porém, esta fração natural não supre as necessidades totais dos organismos vegetais, desta forma, necessitando de complementação mineral (Seiffert, 1990). A deficiência de nitrogênio de forma leve, moderada e severa pode ocasionar a restrição do crescimento destes organismos e clorose, a mudança de cor em folhas devido à produção insuficiente de clorofila (SIMAS, 2021).

A produção de nitrogênio sintético é realizada através de um processo industrial químico chamado destilação fracionada, sendo realizado com o ar atmosférico, utilizando o ponto de ebulição diferente dos gases contidos neste para separá-los (WIKIPÉDIA, 2024).

Para a transformação do nitrogênio em amônia para a utilização em fertilizantes o processo original de Haber-Bosch combina nitrogênio e hidrogênio, com o processo sendo realizado a pressão de 200 bar e temperatura de 500 a 600 graus célsius (RIBEIRO, 2013).

A produção dos fertilizantes nitrogenados sintéticos necessita de uma fonte de energia, sendo que esta prática corresponde a cerca de 1,15% do consumo energético global, grande parte das vezes, os combustíveis fósseis são utilizados como fonte energética, causando a liberação de gases de efeito estufa (Mendes Júnior, 2011) e durante o processo de desnitrificação também é emitido o óxido nitroso, um potente gás de efeito estufa (SIMAS, 2021). A utilização dos fertilizantes nitrogenados em excesso, consta com perdas de eficiência na absorção do nutriente, estando entre 30% e 60% devido às perdas por lixiviação e volatilização da amônia (SIMAS, 2021).

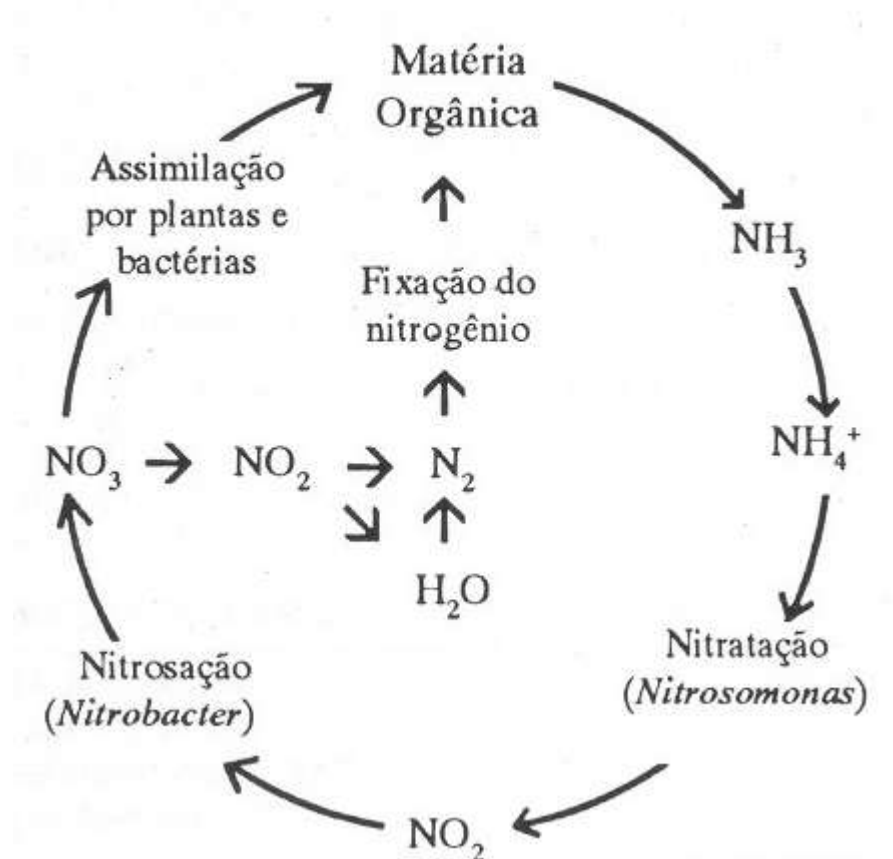
2.2.3 Ciclo do nitrogênio

De acordo com Vieira (2017), por volta de 78% da atmosfera terrestre é composta pelo gás dinitrogênio, porém devido à tripla ligação deste gás e sua estabilidade à temperatura ambiente, organismos animais e vegetais são impedidos de utilizá-lo diretamente, desta forma, a nitrogenase cumpre a função de quebrar esta ligação, iniciando a fixação biológica do nitrogênio.

Na litosfera, encontra-se cerca de 98% do nitrogênio terrestre, estando em parte nos oceanos, no solo e nas rochas. Nos solos o nitrogênio pode ser encontrado na forma orgânica, com o restante permanecendo em forma mineral.

Figura 2: Ciclo do nitrogênio.

O Ciclo do Nitrogênio



Fonte: Pádua, 1996.

Para que ocorra a fixação do nitrogênio existem diferentes processos, sendo um destes a fixação biológica que ocorre por meio do processo enzimático, com o nitrogênio atmosférico sendo reduzido à amônia por ação intermediária de microrganismos fixadores de nitrogênio de vida livre, simbióticos ou associados, esta fixação do azoto necessita da quebra da tripla ligação que o nitrogênio possui em sua forma atmosférica pela presença da enzima nitrogenase. Para que este processo de fixação ocorra de maneira eficaz, fatores determinantes como o pH do solo, temperatura, regime hídrico e disponibilidade de nutrientes exercem grande influência (VIEIRA, 2017).

A enzima nitrogenase é extremamente sensível ao oxigênio, porém, não se torna um problema para as bactérias anaeróbicas que protegem a enzima de certa forma. Tais microrganismos possuem diversas formas de evitar o contato do oxigênio com a enzima, por exemplo, nas espécies de azotobacter o elevado metabolismo

respiratório mantém baixos os níveis de oxigênio nas células. Outras bactérias são capazes de produzir polissacarídeos extracelulares que limitam a difusão de oxigênio para o interior das células (VIEIRA, 2017).

O segundo processo de fixação é a fixação física do nitrogênio, onde o nitrogênio atmosférico transforma-se em amônia através de fenômenos físicos como relâmpagos que, contendo elevada energia, separam as moléculas de nitrogênio permitindo que estas se liguem com moléculas de oxigênio disponíveis no ar, formando óxido de nitrogênio e nitrato. Por fim, o terceiro processo é a fixação industrial onde sob alta pressão e temperatura é rompida a tripla ligação do nitrogênio, entretanto, utilizando alto volume de combustíveis fósseis que produzem gases de efeito estufa durante o processo (Santos; Velho; Freitas, S. d.; Wikipédia, 2024).

Após a fixação, a amonização ocorre, com o nitrogênio orgânico em forma de amônia sendo mineralizado através de ações de microrganismos anaeróbicos e aeróbios que atuam na presença de água e em seguida inicia-se a nitrificação, que consiste na oxidação da amônia, transformando-a em nitrato, processo que requer a presença de oxigênio devido a realização pelas bactérias aeróbias. Este processo é dividido em duas etapas, a nitrosação, que consiste na ação da bactéria nitrosomonas que resulta na formação de nitrito que é oxidado transformando-o em nitrato na segunda fase do processo, a nitratação que é realizada pela espécie nitrobacter (SANTOS, VELHO e FREITAS, s/d).

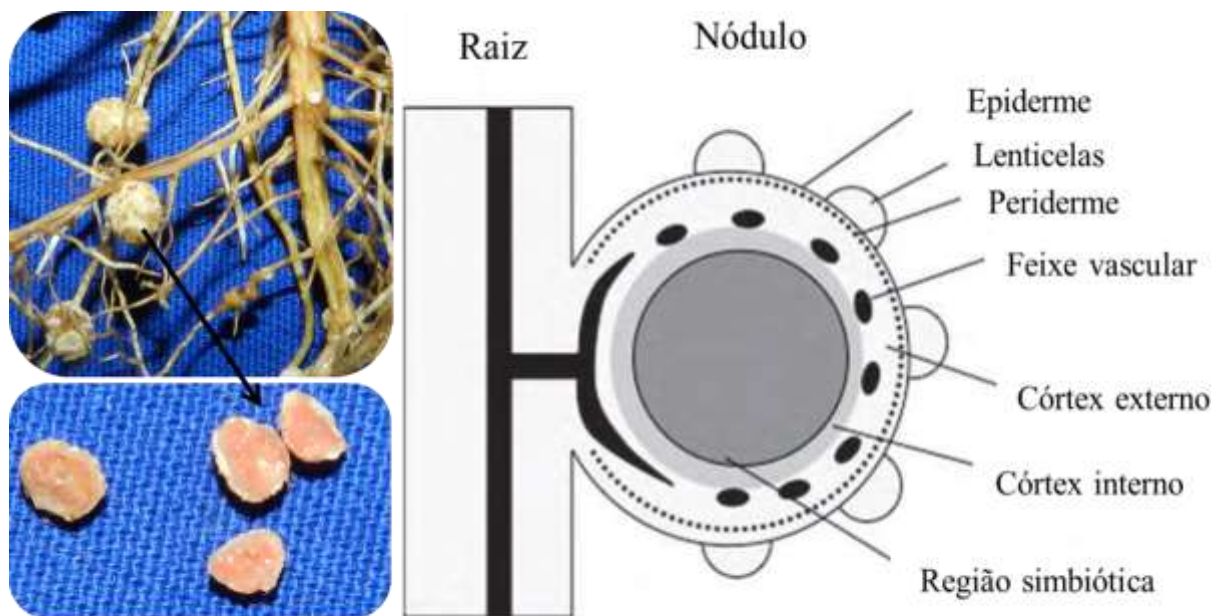
Afim, ocorre o processo de desnitrificação que corresponde à retirada de compostos oxigenados ligados ao nitrogênio, retornando-o à atmosfera, esta etapa ocorre através da ação de bactérias desnitrificantes como a pseudomonas, que por intermédio da própria respiração, utilizam o nitrato e compostos de carbono como fonte de energia, liberando nitrogênio gasoso à atmosfera (SANTOS, VELHO e FREITAS, s/d; VIEIRA, 2017).

2.2.4 Fixação biológica do nitrogênio

A fixação biológica do nitrogênio é realizada pelo processo enzimático da nitrogenase onde o nitrogênio atmosférico é capturado e convertido em formas que podem ser utilizadas pelas plantas, este processo ocorre por meio das relações entre bactérias diazotróficas e culturas, sendo mais comum nas plantas leguminosas devido

a formação de estruturas especializadas nas raízes, chamadas nódulos (Simas, 2021).

Figura 3: Estrutura dos nódulos da soja.



Fonte: Elevagro, 2022.

Associações de microrganismos fixadores de nitrogênio com outras famílias vegetais foram encontradas e no caso das gramíneas como a cana-de-açúcar, também é possível realizar a simbiose com as bactérias fixadoras de nitrogênio, porém, devido à falta de nódulos nas raízes a captação do nitrogênio é diminuída comparada à associação destas bactérias com as leguminosas, desta forma, não é possível dispensar o uso de adubos nitrogenados sintéticos na produção (VIEIRA, 2017; EMBRAPA, s/d.).

A inoculação é de suma importância para que todo o processo ocorra, envolvendo bactérias diazotróficas que são selecionadas e incrementadas às sementes ou sulcos das plantas antes da semeadura através de um produto chamado inoculante ou biofertilizante (BRASMAX GENÉTICA, 2023; CUNHA e MENDES, 2021).

Para a soja especificamente, as bactérias *Bradyrhizobium Japonicum* são utilizadas, estas se associam às raízes da soja através dos nódulos, portando grande eficiência na conversão de dinitrogênio atmosférico em compostos nitrogenados utilizados pela cultura (VIEIRA, 2017; EMBRAPA, s/d).

Outras espécies como o feijão, amendoim, adubo verde e leguminosas arbóreas que possuem a função de formar nódulos em suas raízes, também utilizam muito o inoculante que, ganha visibilidade global sendo muito comprado no México e na Argentina (EMBRAPA, s/d).

No Brasil, a fixação biológica de nitrogênio substitui ou reduz a utilização de adubos e fertilizantes nitrogenados sintéticos nas lavouras, principalmente na cultura de soja onde a inoculação das bactérias do gênero *Bradyrhizobium* se torna uma maneira simples de fornecer o nitrogênio com menor ou nenhuma poluição proporcionada pelos fertilizantes (ANTUNES, 2019). Este é um processo que contribui para a sustentabilidade agrícola sendo que porta um impacto ambiental menor em relação ao uso de fertilizantes nitrogenados (AGRISHOW DIGITAL, 2023).

2.3 Dados obtidos pela pesquisa

Contanto que as bactérias fixadoras de nitrogênio não são compatíveis com todas as culturas de cultivo, estas ainda exercem capacidade de eliminar o uso dos fertilizantes altamente processados como é o caso no cultivo da soja no Brasil, culturas que exibem compatibilidade parcial tais como o milho ainda podem ser beneficiadas pelo uso das bactérias diazotróficas e logo, seu uso pode reduzir porém não eliminar o uso destes produtos, visto que a produção de fertilizantes causa liberação dos gases de efeito estufa como subproduto dos combustíveis fósseis usados como fonte de energia, esta capacidade é ideal para a conservação do solo meio ambiente, e biodiversidade.

Conforme Silva et al. (2024) A absorção de nitrogênio pelo solo na cultura do milho gira em torno de 50% devido a imobilização do elemento não absorvido ou sua lixiviação e segundo Simas (2021), as bactérias diazotróficas fixam cerca de 17% do nitrogênio necessário para o desenvolvimento das gramíneas, família de plantas que não forma nódulos nas raízes. Estas taxas não são suficientes para suprir as necessidades das culturas, porém, a redução da taxa de nitrogênio utilizado ou elevação da produtividade além da capacidade exibida apenas pelo uso de fertilizantes permanece uma possibilidade.

2.4 Resultados alcançados e discussão

De acordo com o escopo planejado para a elaboração deste artigo, pode se entender que os resultados obtidos foram satisfatórios, abordando os tópicos conforme planejado. A decisão de não obter dados empíricos causou certo detrimento para o valor da informação contida neste artigo, porém, os custos associados com esta prática determinaram a não realização desta. Durante a busca por informações diversos recursos houveram que ser descartados, dificultando a elaboração do trabalho, entretanto, as fontes remanescentes foram suficientes para a construção deste.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Visto que durante a elaboração deste artigo testes físicos não foram realizados, ao invés utilizando apenas dados publicados em mídias de acesso público, os dados obtidos podem variar de forma imprevisível quando comparados a realidade, logo, é recomendado que seja elaborado um trabalho focado em determinar as eficiências de custo, tempo e disponibilidade das bactérias diazotróficas comparadas aos adubos comuns atualmente disponíveis com o objetivo de obter resultados empíricos e aplicáveis em uma variedade de localidades e climas. Ainda assim, o artigo expõe os dados conforme necessário, exibindo resultados que são considerados satisfatórios dentre as condições da elaboração deste como a falta dos recursos necessários para a realização de experimentos e coleta de dados destes.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, J. M. **Inoculação reduz custos com fertilizantes na soja**. [S. l.]: Embrapa, 23 set. 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/instrumentacao/busca-de-noticias/-/noticia/46716731/inoculacao-reduz-custos-com-fertilizantes-na-soja>. Acesso em: 26 nov. 2024.

AGRISHOW DIGITAL. **Sustentabilidade agrícola e os benefícios da inoculação e da coinoculação da soja**: Quando bem planejadas, tanto a inoculação quanto a coinoculação da soja oferecem benefícios à produção, principalmente na produtividade e na sustentabilidade agrícola. [S. l.], 4 set. 2023. Disponível em: <https://digital.agrishow.com.br/artigos/sustentabilidade-agricola-e-os-beneficios-da-inoculacao-e-da-coinoculacao-da-soja/>. Acesso em: 27 nov. 2024.

BRASIL. Produção nacional de fertilizantes. **Secretaria especial de assuntos estratégicos**. GOV.BR, 2 jul. 2020. Disponível em: https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/estudos-estrategicos/sae_publicacao_fertilizantes_v10.pdf. Acesso em: 21 nov. 2024.

BRASIL. Plano nacional de fertilizantes 2050. **Secretaria especial de assuntos estratégicos**. GOV.BR, 3 maio 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/planos/plano-nacional-fertilizantes/>. Acesso em: 25 nov. 2024.

BRASMAX GENÉTICA. **Inoculação da soja**: entenda os benefícios e a aplicação. [S. l.], 22 jun. 2023. Disponível em: <https://www.brasmaxgenetica.com.br/blog/inoculacao-da-soja/>. Acesso em: 27 nov. 2024.

CALPAR. Saiba como é a fertilidade dos solos no Brasil: Entenda os processos que fazem a produção nacional ser destaque no mundo. [S. l.]: G1, 30 maio 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/pr/parana/especial-publicitario/calpar/produtividade-sem-fronteiras/noticia/saiba-como-e-a-fertilidade-dos-solos-no-brasil.ghtml>. Acesso em: 20 nov. 2024.

CIBRA. **A evolução dos fertilizantes parte I**: A origem. [S. l.], 13 fev. 2023. Disponível em: <https://www.cibra.com/noticias-agricolas/tendencias/a-origem-dos-fertilizantes/>. Acesso em: 26 nov. 2024.

CIBRA. **A evolução dos fertilizantes parte II**: A era NPK. [S. l.], 20 mar. 2023. Disponível em: <https://www.cibra.com/noticias-agricolas/tendencias/evolucao-dos-fertilizantes-parte-ii-era-npk/>. Acesso em: 26 nov. 2024.

CUNHA, M. H.; MENDES, I. C. Métodos de inoculação. In: **Soja**. [S. l.]: Embrapa, 8 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/producao/inoculacao-e-inoculante/metodos-de-inoculacao>. Acesso em: 27 nov. 2024.

CUNHA, T. J. F. *et al.* Argissolos. In: **Bioma Caatinga**. [S. l.]: Embrapa, 8 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/solos/argissolos>. Acesso em: 20 nov. 2024.

CUNHA, T. J. F. *et al.* Neossolos. In: **Bioma Caatinga**. [S. l.]: Embrapa, 8 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/solos/neossolos>. Acesso em: 20 nov. 2024.

DIAS, C. **O solo tem história para contar**. [S. l.]: Embrapa, 14 jun. 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/44137808/o-solo-tem-historia-para-contar>. Acesso em: 21 nov. 2024.

EMBRAPA. Perguntas e respostas. *In*: **Fixação biológica de Nitrogênio**. [S. l.], [S. d.]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-fixacao-biologica-de-nitrogenio/perguntas-e-respostas>. Acesso em: 27 nov. 2024.

ELEVAGRO. **Nodulação em soja e a fixação biológica de N**. [S. l.], 23 fev. 2022. Disponível em: <https://elevagro.com/blog/nodulacao-em-soja-e-a-fixacao-biologica-de-n/>. Acesso em: 25 nov. 2024.

FACHIN, O. **Fundamentos da metodologia**. São Paulo: Saraiva, 2005. 113 p. ISBN 978-85-02-05532-2. Disponível em: <http://maratavarespsictics.pbworks.com/w/file/etch/74302802/FACHIN-Odilia-fundamentos-de-Metodologia.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2024.

FREITAS, E. **Tipos de solo do Brasil**: Os diversos tipos de solo existentes no Brasil podem ser diferenciados segundo a tonalidade, composição e granulação. [S. l.]: Brasil Escola, [S. d.]. Disponível em: <https://brasilestola.uol.com.br/brasil/tipos-solo-brasil.htm>. Acesso em: 21 nov. 2024.

JONES, F. Os primeiros inoculantes: Produtos feitos com bactérias que captam nitrogênio na lavoura de soja remontam aos anos 1960. **Revista Pesquisa Fapesp**, [s. l.], ed. 285, 1 nov. 2019. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/os-primeiros-inoculantes/>. Acesso em: 26 nov. 2024.

MENDES, A. M. S. Introdução a fertilidade do solo. **Anais de Congresso**. *In*: Curso de manejo e conservação do solo e da água, Recife, 2007. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/35800/1/OPB1291.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2024.

MENDES JÚNIOR, A. A. **Participação da energia fóssil na produção dos fertilizantes industriais nitrogenados com ênfase na uréia**. Orientador: Prof. Dr. Osmar de Carvalho Bueno. 2011. 52 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/c47317c2-10f2-4f22-9ddc-c2bd2355182a/content>. Acesso em: 27 nov. 2024.

MULTITÉCNICA. **Fertilizantes**: Conheça um pouco da sua história. [S. l.], 27 ago. 2018. Disponível em: <https://multitecnica.com.br/historia-dos-fertilizantes/>. Acesso em: 26 nov. 2024.

NITAHARA, A. **IBGE: 32% dos solos do país têm potencial natural para a agricultura**: País tem mais de 500 tipos de solos. Rio de Janeiro: EBC, 5 dez. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/pr/parana/especial-publicitario/calpar/produtividade-sem-fronteiras/noticia/saiba-como-e-a-fertilidade-dos-solos-no-brasil.ghtml>. Acesso em: 21 nov. 2024.

PÁDUA, H. B. **Sem nitrogênio não há vida**. [S. l.]: Revista Panorama da Aquicultura, 2 maio 2024. Disponível em: <https://panoramadaaquicultura.com.br/sem-nitrogenio-nao-ha-vida/>. Acesso em: 25 nov. 2024.

PEREIRA, A. P. **Espécies vegetais potenciais para adubação verde**. Orientador: Profa. Dra. Jana Koefender. 2015. 38 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) - Universidade de Cruz Alta, RS, 2015. Disponível em: <https://home.unicruz.edu.br/wp-content/uploads/2017/01/Alan-Pacifico-Pereira-ESPECIES-VEGETAIS-POTENCIAIS-PARA-ADUBACAO-VERDE.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2024.

PERGON, H. **Johanna Döbereiner**: conheça a engenheira brasileira que transformou a agricultura com a fixação biológica de nitrogênio. [S. l.], 22 out. 2024. Disponível em: <https://blog.sensix.ag/johanna-dobereiner-conheca-a-engenheira-brasileira-que-transformou-a-agricultura-com-a-fixacao-biologica-de-nitrogenio/>. Acesso em: 26 nov. 2024.

RIBEIRO, D. Processo de Haber-Bosch. **Revista Ciência Elementar**, [S. l.], v. 1, n. 1, 1 dez. 2013. Disponível em: <https://rce.casadasciencias.org/rceapp/art/2013/031/>. Acesso em: 27 nov. 2024.

SANTOS, A. T.; VELHO, A. E.; FREITAS, T. S. **Ciclo do nitrogênio e suas reações**. [S. l.]: ILSA Brasil, [S. d.]. Disponível em: <https://ilsabrasil.com.br/ciclo-do-nitrogenio-e-suas-reacoes/>. Acesso em: 27 nov. 2024.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e aum. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 355 p. ISBN 978-85-7035-817-2. Disponível em: <https://www.agroapi.cnptia.embrapa.br/portal/assets/docs/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2024.

SEIFFERT, N. F. Disponibilidade de nitrogênio total em latossolos utilizados para formação de pastagens no Brasil central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s. l.], v. 25, n. 10, p. 1501-1512, 1990. Disponível em: <https://digital.agrishow.com.br/artigos/sustentabilidade-agricola-e-os-beneficios-da-inoculacao-e-da-coinoculacao-da-soja/>. Acesso em: 27 nov. 2024.

SILVA, D. F. *et al.* Lixiviação de nitrato e amônio no perfil de latossolo cultivado com milho irrigado. **Anais de Congresso**. In: Congresso nacional de irrigação e drenagem, Montes Claros, 2009. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/513261>. Acesso em: 26 nov. 2024.

SIMAS, B. R. S. **Bactérias diazotróficas ou adubação nitrogenada nos parâmetros produtivos do capim-aruaçu**. Orientador: Prof. Dr. Ossival Lolato Ribeiro. 2021. 48 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2021. Disponível em: https://www2.ufrb.edu.br/ppiz/images/Vers%C3%A3o_Finalizada_Disserta%C3%A7%C3%A3o_Beatriz_Simas.pdf. Acesso em: 16 nov. 2024.

SOLO FÉRTIL. **Solo ácido nacional é um desafio para as lavouras; a Solo Fértil tem solução**: A empresa analisa e estuda os calcários produzidos para oferecer

produtos de qualidade e que beneficiem seu público-alvo. [S. l.]: G1, 15 ago. 2022. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/tipos-solo-brasil.htm>. Acesso em: 21 nov. 2024.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Areia quartzosa / Neossolo quartzarênico. *In: Bioma Cerrado*. [S. l.]: Embrapa, 8 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-cerrado/solo/tipos-de-solo/aq/-/nq>. Acesso em: 20 nov. 2024.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Latossolos. *In: Bioma Cerrado*. [S. l.]: Embrapa, 8 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-cerrado/solo/tipos-de-solo/latossolos>. Acesso em: 19 nov. 2024.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Podzólicos / Argissolos. *In: Bioma Cerrado*. [S. l.]: Embrapa, 8 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-cerrado/solo/tipos-de-solo/pe/-/pv/-/pva>. Acesso em: 20 nov. 2024.

TRAINA, A. J. M.; TRAINA JÚNIOR, C. Como fazer pesquisa bibliográfica. **SBC Horizontes - Revista Eletrônica**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 1-6, 2009. Disponível em: <http://univasf.edu.br/~ricardo.aramos/comoFazerPesquisasBibliograficas.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2024.

VIEIRA, R. F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 163 p. ISBN 978-85-7035-780-9. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/175460/1/2017LV04.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2024.

WIKIPÉDIA. **Destilação fracionada**. [S. l.], 26 out. 2024. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Destila%C3%A7%C3%A3o_fracionada. Acesso em: 27 nov. 2024.

WIKIPÉDIA, E. **Fixação de nitrogênio**. [S. l.], 17 fev. 2024. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Fixa%C3%A7%C3%A3o_de_nitrog%C3%AAnio. Acesso em: 27 nov. 2024.

WIKIPÉDIA. **Johanna Döbereiner**. [S. l.], 22 mar. 2024. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Johanna_D%C3%B6bereiner. Acesso em: 26 nov. 2024.

ZARONI, M. J.; SANTOS, H. G. Argissolos. *In: Solos Tropicais*. [S. l.]: Embrapa, 9 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/argissolos>. Acesso em: 19 nov. 2024.

ZARONI, M. J.; SANTOS, H. G. Latossolos. *In: Solos Tropicais*. [S. l.]: Embrapa, 9 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/latossolos>. Acesso em: 19 nov. 2024.

ZARONI, M. J.; SANTOS, H. G. Neossolos. *In*: **Solos Tropicais**. [S. l.]: Embrapa, 9 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/neossolos>. Acesso em: 20 nov. 2024.

Glossário

Diazotrófica	Se refere à capacidade de fixação do nitrogênio exibida por certas bactérias.
Nitrosação	Processo realizado por bactérias nitrosomonas, transformando a amônia fixada em nitrito.
Nitratação	Processo de liberação ao solo dos nitratos formados pelas bactérias nitrosas.
Nitrobacter	Bactéria que oxida os nitritos, transformando-os em nitratos.
Azotobacter	Bactérias fixadoras de nitrogênio de vida livre que, em maioria, não estabelecem relações simbióticas com plantas.
Eutrófico	Solo de elevada fertilidade.
Distrófico	Solo de fertilidade baixa e elevada acidez.
Álico	Solo com baixo potencial nutricional.
Hidromórfico	Referente ao conteúdo de água ou humidade.
Clorose	Descoloração das folhas de uma planta.
Nitrogenase	Enzima que reduz o azoto molecular a amônia.
Nitrosomona	Refere-se a uma bactéria que oxida amônia transformando-a em nitrito como processo metabólico.