



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA**



STÉFANI LORRAINE DE OLIVEIRA DELBON

UTILIZAÇÃO DE INOCULANTES BIOLÓGICOS PARA FIXAÇÃO DE  
NITROGÊNIO EM LEGUMINOSAS

Uberlândia

2023

STÉFANI LORRAINE DE OLIVEIRA DELBON

UTILIZAÇÃO DE INOCULANTES BIOLÓGICOS PARA FIXAÇÃO DE  
NITROGÊNIO EM LEGUMINOSAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Miriam Maria de Resende

Uberlândia

2023

STÉFANI LORRAINE DE OLIVEIRA DELBON

UTILIZAÇÃO DE INOCULANTES BIOLÓGICOS PARA FIXAÇÃO DE  
NITROGÊNIO EM LEGUMINOSAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Química (FEQUI) da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Química.

Uberlândia, 29 de junho de 2023.

Banca Examinadora:

---

Profa. Miriam Maria de Resende – FEQ/UFU

---

Profa. Juliana de Souza Ferreira – FEQ/UFU





## UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Faculdade de Engenharia Química

Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1K - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902

Telefone: (34) 3239-4285 - secdireq@feq.ufu.br - www.feq.ufu.br



### ATA DE DEFESA - GRADUAÇÃO

Curso de Graduação em:	Engenharia Química				
Defesa de:	Trabalho de Conclusão de Curso - FEQUI31033				
Data:	29/06/2023	Hora de início:	9:10	Hora de encerramento:	10:30
Matrícula do Discente:	11811EU038				
Nome do Discente:	STÉFANI LORRAINE DE OLIVEIRA DELBON				
Título do Trabalho:	UTILIZAÇÃO DE INOCULANTES BIOLÓGICOS PARA FIXAÇÃO DE NITROGÊNIO EM LEGUMINOSAS				

Reuniu-se por vídeo-conferência na sala virtual do Microsoft Teams, a Banca Examinadora assim composta: Profa. Dra. Juliana de Souza Ferreira- FEQUI/UFU; Iara Rossi Gonçalves – pós-Doutoranda PPGEQ/UFU; Miriam Maria de Resende - FEQUI/UFU orientadora do candidato.

Iniciando os trabalhos, a presidente da mesa, Profa. Miriam Maria de Resende, apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu à discente a palavra, para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do curso.

A seguir a senhora presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir a candidata. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando a candidata:

**Aprovada. Nota: 93 (noventa e três)**

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Miriam Maria de Resende, Professor(a) do Magistério Superior**, em 29/06/2023, às 10:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Juliana de Souza Ferreira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 29/06/2023, às 10:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Iara Rossi Gonçalves, Usuário Externo**, em 29/06/2023, às 10:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4604105** eo código CRC **7FE7D85F**.

---

Referência: Processo nº 23117.045072/2023-79

SEI nº 4604105

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

D344 Delbon, Stéfani Lorraine de Oliveira, 1994-  
2023 UTILIZAÇÃO DE INOCULANTES BIOLÓGICOS PARA FIXAÇÃO DE  
NITROGÊNIO EM LEGUMINOSAS [recurso eletrônico] / Stéfani  
Lorraine de Oliveira Delbon. - 2023.

Orientadora: Miriam Maria de Resende.  
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em  
Engenharia Química.

Modo de acesso: Internet.

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Engenharia química. I. Resende, Miriam Maria de,  
1971-, (Orient.). II. Universidade Federal de  
Uberlândia. Graduação em Engenharia Química. III.  
Título.

CDU: 66.0

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:  
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091  
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer meu anjo da guarda, que durante toda a minha jornada, foi meu protetor, me guiou nas noites difíceis e tem cuidado da minha estrelinha Polly desde a sua partida.

A minha mãe, Ana Paula, que foi meu alicerce nessa caminhada, que com todo amor e esforço, me apoiou na realização desse sonho. Se cheguei onde cheguei, é por sua causa e tenho muito orgulho de te ter como mãe. Tenho um amor incondicional por você mãe, obrigada por tudo o que fez por mim e por ter sido meu porto seguro durante todos esses anos. Sem você, nada disso seria possível, esse trabalho é dedicado todo a você.

Ao meu querido e amado primo que a vida me deu, Rodrigo, que lá atrás, quando pensei em abandonar a faculdade, não deixou que eu não desistisse de realizar o meu sonho, mesmo com todos os obstáculos que vieram e iriam vir pelo caminho.

As minhas melhores amigas Amanda, Káren e Fernanda, que foram minhas grandes companheiras nessa jornada, que mesmo a vida levando cada uma para um lado, sempre estiveram presentes em minha vida.

Ao queridíssimo advogado Arthur, que desde que eu era pequena, lutou pelo o que era melhor para mim e foi assim até a minha graduação. Minhas conquistas também serão suas e a gratidão é eterna.

Aos familiares, que foram companheiros da minha mãe durante minha ausência, e aos amigos que fiz pelo caminho em Uberaba e Uberlândia, em especial ao Patrick e a Suzana, que foram essenciais para a mudança de cidade e se tornaram meu apoio emocional nessa difícil transição.

A minha querida orientadora Miriam, que foi meu suporte para a conclusão desse trabalho. Obrigada por ter sido tão incrível, me sinto honrada por ter trabalhado ao seu lado.

Por último e não menos importante, deixo meu agradecimento ao meu namorado Matheus, que ficou ao meu lado nas temidas noites de estudos de cálculo de reatores, termodinâmica e modelagem de processos, que foi bastante paciente, esteve ao lado das minhas conquistas em processos seletivos e cuidou da Pérola.

Meu sincero agradecimento a cada um de vocês, desejo muito sucesso em suas vidas e tenho um carinho enorme por todos.



## RESUMO

A fixação biológica de nitrogênio é realizada por bactérias do gênero *Rhizobium* que estabelecem simbiose com as raízes das leguminosas, resultando na formação de nódulos que permitem que a bactéria realize o processo biológico de fixação de N<sub>2</sub> em condições adequadas. Para que a inoculação seja eficiente, é necessário utilizar estirpes de *Rhizobium* adequadas para cada espécie de leguminosa. A avaliação de inoculantes biológicos consiste em testar a efetividade dessas estirpes em fixar nitrogênio nas raízes das espécies de leguminosas que serão inoculadas. É importante destacar que a efetividade da inoculação deve ser avaliada regularmente para garantir a maximização dos benefícios da fixação biológica do nitrogênio em leguminosas, sendo uma forma alternativa de fornecer nutrientes às plantas, principalmente em solos pobres e com baixa fertilidade. A eficiência da FBN é influenciada por diversos fatores, como temperatura, umidade, características químicas e físicas do solo, além da compatibilidade entre a planta hospedeira e o rizóbio. A inoculação com rizóbio é uma técnica agrônômica importante para melhorar a produtividade e a qualidade das culturas, bem como para reduzir a dependência de fertilizantes nitrogenados sintéticos, que podem ser prejudiciais ao meio ambiente. A FBN é especialmente importante na cultura de ervilha, lentilha e alfafa, que têm simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio nas raízes.

**Palavras-chave:** agricultura; inoculantes biológicos; fixação de nitrogênio; leguminosas; rizóbio; *Rhizobium*; FBN.

## ABSTRACT

The biological fixation of nitrogen is performed by bacteria of the genus *Rhizobium* that establish symbiosis with the roots of legumes, resulting in the formation of nodules that allow the bacteria to carry out the biological process of N<sub>2</sub> fixation under suitable conditions. In order for inoculation to be effective, it is necessary to use appropriate *Rhizobium* strains for each legume species. The evaluation of biological inoculants consists of testing the effectiveness of these strains in fixing nitrogen in the roots of the legume species that will be inoculated. It is important to highlight that the effectiveness of inoculation should be regularly evaluated to ensure the maximization of the benefits of biological nitrogen fixation in legumes, being an alternative way to provide nutrients to plants, especially in poor and low-fertility soils. The efficiency of BNF is influenced by various factors, such as temperature, humidity, chemical and physical characteristics of soil, as well as compatibility between the host plant and the rhizobia. Inoculation with rhizobia is an important agronomic technique to improve productivity and quality of crops, as well as to reduce dependence on synthetic nitrogen fertilizers, which can be harmful to the environment. BNF is especially important in the culture of pea, lentil, and alfalfa, which have symbiosis with nitrogen-fixing bacteria in their roots.

**Keywords:** agriculture; biological inoculants; nitrogen fixation; legumes; rhizobium; *Rhizobium*; BNF.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Nódulo em raiz de feijoeiro. ....	13
Figura 2 - População mundial até 2050. ....	16
Figura 3 – Grão de soja inoculado com inoculante turfoso. ....	19
Figura 4 - Fixação biológica do nitrogênio. ....	22
Figura 5 - Semente de soja. ....	23
Figura 6 - Grãos de feijão. ....	24
Figura 7 - Grãos-de-bico.....	25
Figura 8 – Sementes de amendoim.....	26
Figura 9 - Grãos de lentilha. ....	27
Figura 10 – Ervilhas verdes.....	29
Figura 11 - Folhas de alfafa.....	30

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANPII	Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FBN	Fixação biológica do nitrogênio
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
ONU	Organização das Nações Unidas
RELARE	Rede de Laboratórios para a Recomendação, Padronização e Difusão de Tecnologias de Inoculantes Microbianos de Interesse Agrícola

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	8
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	15
<b>3. DEMANDA DE ALIMENTOS, CRESCIMENTO POPULACIONAL E O USO DE FERTILIZANTES</b> .....	16
<b>4. PLANTAS LEGUMINOSAS E SUAS CARACTERÍSTICAS</b> .....	17
<b>5. INOCULANTES BIOLÓGICOS E O USO EM LEGUMINOSAS</b> .....	18
<b>5.1 Condições para recomendação de produtos inoculantes biológicos no Brasil</b> .....	20
<b>6. A FERTILIZAÇÃO NITROGENADA EM LEGUMINOSAS</b> .....	20
<b>6.1 Fixação de nitrogênio em plantas leguminosas</b> .....	21
6.1.1 Fixação biológica de nitrogênio na cultura de soja .....	23
6.1.2 Fixação biológica de nitrogênio na cultura de feijão.....	24
6.1.3 Fixação biológica de nitrogênio na cultura do grão-de-bico .....	25
6.1.4 Fixação biológica de nitrogênio na cultura do amendoim.....	26
6.1.5 Fixação biológica de nitrogênio na cultura de lentilha.....	27
6.1.6 Fixação biológica de nitrogênio na cultura de ervilha.....	28
6.1.7 Fixação biológica de nitrogênio na cultura de alfafa.....	29
<b>6.2 Fatores limitantes à fixação biológica de nitrogênio</b> .....	31
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	33
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	35

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização de inoculantes biológicos para fixação de nitrogênio em leguminosas é uma etapa importante para garantir o sucesso da inoculação e maximizar a biofixação do nitrogênio.

O processo de fixação biológica do nitrogênio (FBN) é realizado por bactérias do gênero *Rhizobium*, que estabelecem simbiose com as raízes das leguminosas. A simbiose resulta na formação de nódulos, sendo resultado de um processo bastante complexo que envolve várias etapas. Há então uma verdadeira interação entre a bactéria e a planta hospedeira, que envolve a ativação de vários genes e o início de processos específicos que permitem que a bactéria invada a raiz, até que o resultado seja a formação de um nódulo, conforme ilustrado na Figura 1, onde as bactérias penetram e convertem o nitrogênio atmosférico em amônia. Devido à toxicidade da amônia para a planta, ela é prontamente convertida em amidas e/ou ureídos, os quais fornecem nutrientes à planta hospedeira.

Figura 1 - Nódulo em raiz de feijoeiro.



Fonte: EMBRAPA, 2014.

Para que a inoculação seja eficiente, é necessário utilizar estirpes de *Rhizobium* adequadas para cada espécie de leguminosa, selecionadas com base em sua capacidade de fixação de nitrogênio, compatibilidade com o ambiente e condições climáticas locais.

Dessa forma, a avaliação de inoculantes biológicos consiste em testar a efetividade dessas estirpes em fixar nitrogênio nas raízes das espécies de leguminosas que serão inoculadas. Para isso, são realizados testes em condições controladas em laboratório e em condições de campo.

Os testes em laboratório consistem em avaliar a atividade biológica do inoculante, sua viabilidade, concentração, compatibilidade com sementes, temperatura, pH e outras condições ambientais. Já os testes em campo são realizados com o objetivo de avaliar a capacidade do inoculante em fixar nitrogênio e melhorar a produtividade da cultura de leguminosas.

Para avaliar a efetividade da inoculação, podem ser realizados testes de análise foliar, análise de matéria seca, análise de nitrogênio total na planta e comparação com culturas não inoculadas. Os resultados obtidos ajudarão a determinar a necessidade de ajustes no processo de inoculação, escolhendo as estirpes mais adequadas e aprimorando as técnicas de aplicação.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho de conclusão de curso foi a realização de revisão de literatura sobre o uso de inoculantes biológicos para fixação de nitrogênio em leguminosas, destacando a diferença dessa fixação nos diferentes frutos e sementes da família *Fabaceae*.

Utilizou-se como critério base uma seleção de artigos de pesquisa, capítulos de livros e sites. Seguiu-se a leitura e síntese dos materiais encontrados e, por fim, criou-se um banco de dados, no qual posteriormente foi redigido o texto da revisão. Usou-se o ScienceDirect<sup>1</sup> e GoogleAcademic<sup>2</sup> como plataforma de busca. Os termos de busca utilizados foram: “inoculantes biológicos”, “fixação de nitrogênio em leguminosas”, “biological inoculants” e “nitrogen-fixation in leguminous”.

<sup>1</sup> <https://www.sciencedirect.com/>

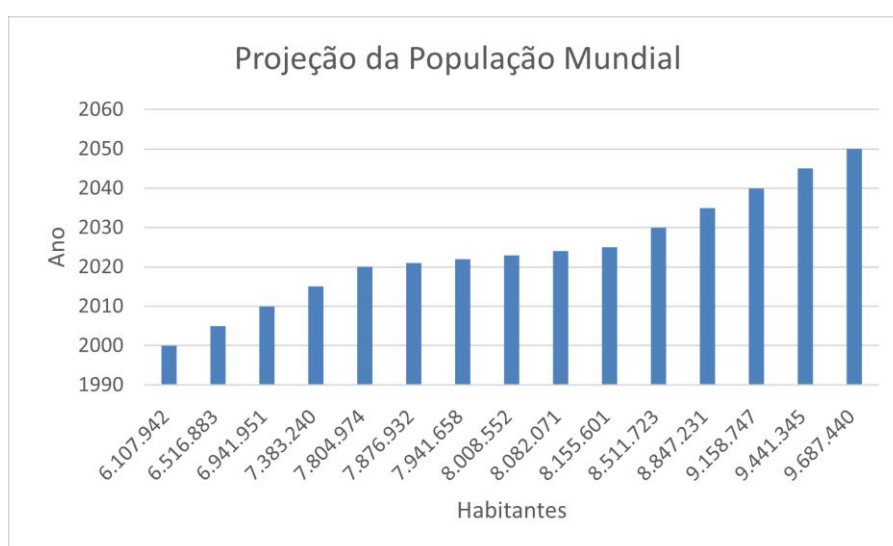
<sup>2</sup> <https://scholar.google.com.br/?hl=pt>



### 3. DEMANDA DE ALIMENTOS, CRESCIMENTO POPULACIONAL E O USO DE FERTILIZANTES

A demanda de alimentos é um tema cada vez mais relevante na atualidade. Segundo o relatório *Revision of World Population Prospects 2022*, da Organização das Nações Unidas (ONU), a população mundial deverá chegar a aproximadamente 9,7 bilhões de pessoas em 2050, como ilustrado na Figura 2, o que aumentará significativamente a pressão sob o sistema alimentar global. Além disso, as mudanças climáticas, a degradação do solo e a escassez de água são ameaças que tornam a produção de alimentos cada vez mais desafiadora.

Figura 2 - População mundial até 2050.



Fonte: da autora, 2023.

Uma pesquisa publicada em 2021 na revista científica *Nature Food*, pelos pesquisadores van Dijk, M., Morley, T., Rau, M.L. et al., da Universidade de Wageningen dos Países Baixos, aponta que para satisfazer a demanda de alimentos em 2050, o setor agrícola precisa aumentar sua produtividade em pelo menos 50%. Os pesquisadores afirmam que a mudança deve ser conduzida de forma sustentável, para minimizar os impactos ambientais e promover a segurança alimentar.

Segundo Belik e Correa (2013), os fatores diretos e indiretos que contribuem para a fome são a insegurança alimentar e a má governança. No entanto, com o crescimento populacional, a produção de alimentos deve aumentar/acompanhar o crescimento populacional para enfrentar a fome (CRUZ JUNIOR et al., 2018). Para atender a essa

demanda crescente, é urgente que o setor agropecuário se torne mais produtivo e sustentável, sendo necessário investir em tecnologia, manejo adequado do solo e da água, além de buscar alternativas para reduzir o desperdício de alimentos.

Também é necessário o uso de fatores externos como adubação, sendo selecionado o uso de fertilizantes para otimizar a produção (CRUZ JUNIOR et al., 2018). A adubação nitrogenada é essencial para aumentar significativamente a produtividade em relação à produção em massa, mas também é o processo mais caro na produção (RODRIGUES et al., 2014).

Por conseguinte, é imprescindível buscar soluções para que as plantas possam absorver o nitrogênio atmosférico. Nessa perspectiva, determinados microrganismos, tais como as bactérias fixadoras de N e as bactérias promotoras do crescimento das plantas, podem ser altamente produtivos, econômicos e menos dependentes da importação de fertilizantes (HUNGRIA, 2011).

#### **4. PLANTAS LEGUMINOSAS E SUAS CARACTERÍSTICAS**

As leguminosas pertencem à família *Fabaceae* e são amplamente distribuídas no Brasil em uma variedade de espécies. Pode ser classificada em herbácea e arbórea, sendo que o manejo e a instalação variam de acordo com a finalidade de uso (PEREIRA et al., 2012). O uso dessa forragem tem chamado a atenção principalmente pelo seu alto teor de proteína com média de 20% de proteína bruta (TEIXEIRA et al., 2010).

Conforme mencionado por Lempp (2013), as propriedades morfogenéticas das leguminosas contribuem para a formação de folhas foliares com alto teor de proteínas, pois não possuem grandes funções estruturais, adquirem menor proporção de tecido lignificado e maiores concentrações de enzimas fotossintéticas em células. É por essas propriedades que as leguminosas são comumente utilizadas para formar bancos de proteínas para fornecer alto valor nutricional aos animais, principalmente durante a estação seca. No entanto, as leguminosas possuem um sistema radicular profundo que ajuda a reduzir a vulnerabilidade dessa espécie em períodos de escassez de água (LUSCHER et al., 2014). A utilização de leguminosas para esse fim tem atraído a atenção de pesquisadores, principalmente para o melhoramento da espécie e produção de sementes viáveis para comercialização (MUIR et al., 2014).

Segundo Sollenberger et al. (2014), existem limitações econômicas para o uso de leguminosas devido ao seu custo, pois a colheita de sementes ou mudas para

propagação não é uma atividade comercial em larga escala. Portanto, é comum observar que as leguminosas forrageiras não fazem parte dos sistemas de produção agrícola (MUIR et al., 2010).

## **5. INOCULANTES BIOLÓGICOS E O USO EM LEGUMINOSAS**

Inoculantes biológicos são agentes que contêm microrganismos benéficos para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Esses microrganismos podem ser bactérias fixadoras de nitrogênio, fungos micorrizos, bactérias que promovem o crescimento radicular, entre outros. A utilização de inoculantes biológicos pode reduzir as necessidades de fertilizantes químicos e melhorar a saúde do solo.

De acordo com Silva et al. (2015), "inoculantes biológicos são uma alternativa para suprir a demanda de nutrientes pelas plantas, principalmente em solos pobres e com baixa fertilidade, uma vez que os microrganismos benéficos presentes nesses inoculantes podem ajudar na fixação de nitrogênio e na solubilização de elementos químicos presentes no solo".

De acordo com Balbinot (2018), os inoculantes são considerados os melhores veículos para os rizóbios<sup>1</sup>, independentemente de sua formulação, seja ela turfosa<sup>2</sup> ou líquida. No entanto, é necessário comprovar sua eficiência agrônômica de acordo com as normas estabelecidas pelo RELARE (Rede de Laboratórios para a Recomendação, Padronização e Difusão de Tecnologias de Inoculantes Microbianos de Interesse Agrícola), aprovadas pelo MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). A quantidade mínima a ser aplicada deve fornecer cerca de 600.000 células por semente, sendo 1,2 milhão de células/semente a quantidade ideal (EMBRAPA, 2022).

Segundo Hungria e Junior (2000), o principal objetivo dos inoculantes é garantir um número adequado de rizóbios na zona da raiz, assegurando uma nodulação satisfatória. No final do século passado, os primeiros inoculantes comerciais foram produzidos em ágar, forma líquida, solo esterilizado ou culturas secas em algodão.

A turfa é apontada por Hungria e Junior (2000) como um dos melhores suportes para a formulação de inoculantes em pó comerciais. No entanto, é necessário atender a certas especificações, como alta retenção de umidade, ausência de toxicidade para a

---

<sup>1</sup> São bactérias presentes no solo que têm a habilidade de converter o nitrogênio atmosférico em formas que podem ser utilizadas pelas plantas hospedeiras.

<sup>2</sup> A formulação turfosa é um material fóssil e organomineral que se forma a partir da decomposição de resíduos vegetais em áreas alagadas.

bactéria, facilidade de processamento, esterilização fácil, disponibilidade em grande quantidade, baixo custo e boa adesão às sementes.

No Brasil, o inoculante turfoso, conforme ilustrado na Figura 3, tem sido o mais utilizado para leguminosas, embora a participação de outros tipos, como líquidos e géis, esteja crescendo nos últimos anos. De acordo com a ANPII (Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes), na safra 2020/2021<sup>3</sup>, foram comercializadas mais de 90 milhões de doses de inoculantes, sendo consumido pela cultura de soja aproximadamente 80 milhões dessas doses.

Figura 3 – Grão de soja inoculado com inoculante turfoso.



Fonte: Mais Soja, 2021.

Dantas (2018) destaca que os inoculantes líquidos têm sido amplamente aceitos devido à sua facilidade de manuseio e menor desgaste das máquinas. Eles podem ser aplicados diretamente nas sementes ou no sulco de semeadura. Sua principal característica é a facilidade de distribuição uniforme, aumentando a capacidade efetiva de aderência às sementes. A recomendação para a inoculação segue a mesma forma que a turfosa, substituindo apenas a solução açucarada por água, e é necessário seguir a proporção recomendada pelo fabricante para obter o número mínimo de unidades formadoras de colônias.

---

<sup>3</sup> Na safra de 2011 foram comercializadas 15,9 milhões de doses, quase 5 vezes a menos que na safra 2020/2021.

## 5.1 Condições para recomendação de produtos inoculantes biológicos no Brasil

Segundo o protocolo oficial do MAPA, além da apresentação de um relatório técnico-científico, deve-se contemplar a avaliação de eficácia dos inoculantes a ser realizada em casa de vegetação, viveiro ou campo, dependendo do modo de ação e uso pretendido. Se realizada somente em casa de vegetação ou viveiro, é necessário conduzir o teste pelo menos quatro vezes, empregando diferentes cultivares, quando possível. Para avaliações em campo, é preciso realizar pelo menos em dois locais com condições edafoclimáticas distintas, adequadas à cultura, por pelo menos duas safras ou em quatro locais com condições edafoclimáticas<sup>4</sup> distintas, tecnicamente adequadas à cultura em uma única safra. É importante que os experimentos sejam conduzidos em locais representativos da cultura.

O MAPA tem a prerrogativa de solicitar testes de campo para verificar a eficácia de tecnologias de inoculação recentemente desenvolvidas.

## 6. A FERTILIZAÇÃO NITROGENADA EM LEGUMINOSAS

Diversos fatores químicos, físicos, bióticos e abióticos atrapalham a associação de *Rhizobium* com leguminosas, seja na fase de estabelecimento, desenvolvimento ou funcionamento da simbiose. A ineficiência ou ausência de nódulos pode estar relacionada à influência desses fatores. Esses fatores variam entre bactérias, plantas e ambientes e influenciam diretamente na fixação biológica de N<sub>2</sub> (FREIRE, 1992; FRANCO; NEVES, 1992; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; CASSETARI et al, 2016).

A disponibilidade de nitrogênio mineral no solo tem um impacto significativo na fixação de nitrogênio. Os processos simbióticos só ocorrem na ausência desses nutrientes, que, por outro lado, são requeridos pelas bactérias *Rhizobium* para a infecção, formação e desenvolvimento de nódulos radiculares (FRANCO; NEVES, 1992; CASSETARI et al., 2016). Assim, o excesso de N na solução do solo reduz significativamente a nodulação nas leguminosas, que passa a suprir as necessidades de nutrientes da planta (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Por outro lado, o fornecimento de pequenas doses de nutrientes no início do crescimento radicular pode aumentar o local de infecção, favorecendo assim mais nodulação (TSAI et al., 1993), o que favorece a FBN.

---

<sup>4</sup> Características do meio ambiente, como o clima, relevo e temperatura.

Em certas leguminosas com nodulação lenta, fixação de N de curto prazo ou baixo potencial de FBN, o uso de pequenas quantidades de nitrogênio inicialmente tem se mostrado benéfico (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), como o feijão comum (TSAI et al., 1993; BRITO et al., 2011; SOARES et al., 2016) e feijão-caupi (XAVIER et al., 2008).

Os rizóbios são simbióticos com leguminosas e sua atividade é regulada pela troca de carbono e nitrogênio entre plantas e bactérias no ambiente da rizosfera<sup>5</sup> (LI et al., 2019). Os exsudatos do sistema radicular são a principal fonte de contribuição de carbono assimilável ao solo, aumentando e fortalecendo a função dos microrganismos da rizosfera (ROMAGNOLI; ANDREOTTI, 2016), e quase todos os fatores que afetam o crescimento da planta afetarão a matéria orgânica da raiz da planta exsudatos (CARDOSO; FREITAS, 1992). Portanto, tecnologias que promovem o crescimento vegetal também contribuem para a fixação biológica de nitrogênio.

As leguminosas forrageiras são de grande importância para o cultivo e recuperação de pastagens degradadas. Essas regiões geralmente apresentam condições de baixa a média fertilidade do solo, o que pode afetar o crescimento inicial das plantas. A aplicação de nitrogênio em pequenas doses durante o estabelecimento das leguminosas mostrou efeitos benéficos em solos com essas condições (HUANG et al., 2017), garantindo que as leguminosas pudessem aumentar a diversidade funcional nessas áreas durante os primeiros dias após o estabelecimento.

## **6.1 Fixação de nitrogênio em plantas leguminosas**

Entre os seres vivos responsáveis pela fixação de nitrogênio, as bactérias rizóbios são as mais notáveis por sua associação com plantas leguminosas. De acordo com Graham e Vance (2003), a simbiose entre essas plantas e os rizóbios é a maior fonte de nitrogênio biologicamente fixado em sistemas agrícolas. Essa associação é especialmente importante devido à sua relevância econômica e à eficiência superior do processo de fixação, que é resultado de uma parceria mais complexa entre macro e micros simbiontes chamada de simbiose (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

De acordo com Fernandes et al. (2003) e Moreira e Siqueira (2006), o objetivo de muitas pesquisas no mundo é alcançar uma associação rizóbio-leguminosa eficiente, de forma que a FBN possa suprir totalmente a necessidade da planta por nitrogênio.

---

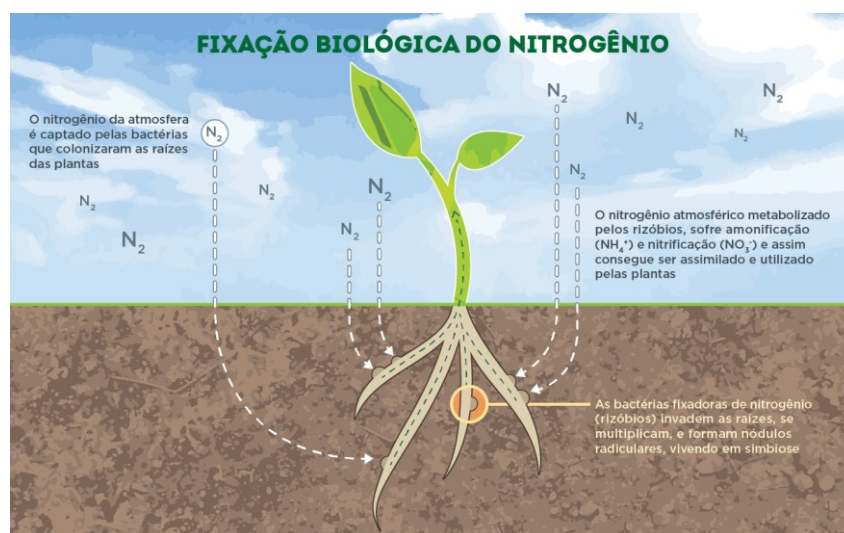
<sup>5</sup> Região do solo onde as raízes das plantas crescem e conseguem água, nutrientes e sais minerais.

Entretanto, a fixação eficiente é influenciada por diversos fatores, tais como temperatura, umidade, características químicas e físicas do solo, que impactam tanto a planta quanto a bactéria. Além disso, conforme apontado por Herridge e Rose (2000), a compatibilidade entre a planta hospedeira e o rizóbio é um fator que interfere significativamente no processo de fixação, independentemente das condições ambientais, e pode favorecer ou não ambos os organismos envolvidos.

A conversão do  $N_2$  atmosférico em amônia, é realizada por um complexo de enzimas chamadas nitrogenases que têm a capacidade de quebrar a ligação tripla do  $N_2$ . Esse complexo é composto por duas proteínas diferentes, a dinitrogenase (proteína Mo-Fe) e a dinitrogenase-reductase (proteína Fe) (DROZDOWICZ, 1997). A nitrogenase é muito sensível ao oxigênio, pois causa desnaturação irreversível de ambos os componentes da proteína. Assim, os microrganismos fixadores de  $N_2$  possuem mecanismos para proteger o nitrogênio da exposição ao oxigênio (DROZDOWICZ, 1997).

Na Figura 4, é apresentado um esquema de como ocorre a fixação biológica do nitrogênio em uma raiz de planta leguminosa.

Figura 4 - Fixação biológica do nitrogênio.



Fonte: CropLife Brasil, 2020.

A necessidade de adubação nitrogenada, a perda de nitrogênio para o meio ambiente, o alto custo de produção devido ao uso de energia fóssil e os riscos do uso de nitrogênio são fatores que justificam a realização de pesquisas no sentido de utilizar bactérias capazes de fixar nitrogênio. A absorção direta da atmosfera reduz os danos

ambientais, a poluição da água e do solo e os custos de produção (LADHA e REDDY, 2003).

No entanto, de acordo com Franco e Neves (1992), embora o processo FBN possa prosseguir com eficiência mesmo em condições de baixa disponibilidade de nitrogênio no solo, a aplicação de pequenas quantidades de nitrogênio durante o preparo do solo é recomendada (HUNGRIA et al., 1994), melhorando o crescimento e promovendo efeito sinérgico na nodulação (TSAI et al., 1993).

#### 6.1.1 Fixação biológica de nitrogênio na cultura de soja

Com base nos dados de produção agrícola, pode-se afirmar que o Brasil ocupa a segunda posição como maior produtor global de soja (*Glycine max*), ficando atrás apenas dos Estados Unidos. Durante a safra 2021/2022, a área cultivada com essa cultura alcançou aproximadamente 41 milhões de hectares, resultando em uma produção total de 123.829,5 milhões de toneladas. Em média, a produtividade da soja no Brasil atingiu 3.026 kg por hectare (CONAB, 2023).

Figura 5 - Semente de soja.



Fonte: EMBRAPA, 2021.

A fixação biológica de nitrogênio é a principal fonte de nitrogênio na cultura da soja. A capacidade do FBN em fornecer todo o nitrogênio que a soja necessita depende de sua eficiência (EMPRAPA, 2004). Como o nitrogênio é fundamental para os processos biológicos, sua disponibilidade é um fator limitante para o crescimento das plantas (juntamente com a água), tornando-se um nutriente essencial (HUNGRIA et al., 2007). O



alto teor de proteína dos grãos de soja requer uma quantidade significativa de nitrogênio, cerca de 80 kg para cada 1.000 kg de grãos produzidos. Porém, o processo de FBN pode suprir todas as necessidades da planta.

#### 6.1.2 Fixação biológica de nitrogênio na cultura de feijão

O feijão (*Phaseolus vulgaris*) é uma cultura amplamente cultivada em todo o território brasileiro, ao longo de diferentes períodos do ano, e adotando uma variedade de sistemas de produção. Esses sistemas abrangem desde práticas consorciadas adotadas por pequenos produtores até o cultivo exclusivo em áreas irrigadas, realizadas por grandes produtores.

Figura 6 - Grãos de feijão.



Fonte: EMBRAPA, 2023.

Segundo Mendes et al. (2010), o potencial biológico de fixação de nitrogênio esperado de uma típica cultura de feijão é de 30 kg/ha. Essa quantidade não é suficiente para atingir o potencial de produtividade de um feijoeiro, que pode atingir níveis superiores a 3.000 kg/ha.

Para atingir essa produtividade, a necessidade de nitrogênio é superior a 60 kg/ha. Considerando a alta demanda de nutrientes das plantas de feijão, a fixação biológica de nitrogênio atualmente cultivada pode não ser suficiente (PEREIRA, 2000).

No entanto, devido ao potencial oferecido pela FBN, alguns estudos sugerem a possibilidade de substituição parcial dos fertilizantes nitrogenados. Porém, mesmo com FBN, não é possível atingir o potencial de produção da planta (FONSECA, 2011).

Pesquisas recentes realizadas no Brasil demonstraram respostas significativas à inoculação do feijoeiro em condições de campo, mas fica evidente que o nível de adoção dessa tecnologia, especialmente entre os agricultores familiares, é baixo (EMBRAPA, 2021).

### 6.1.3 Fixação biológica de nitrogênio na cultura do grão-de-bico

O grão-de-bico (*Cicer arietinum*), conforme ilustrado na Figura 7, é considerado a segunda leguminosa mais consumida mundialmente, ficando atrás somente da soja. Trata-se de uma espécie versátil, capaz de ser cultivada em uma ampla gama de climas, abrangendo desde regiões subtropicais até áreas áridas e semiáridas, incluindo as regiões mediterrâneas. No mercado brasileiro, o consumo desse alimento tem crescido constantemente, com uma média de 8 mil toneladas importadas até o ano de 2019, visando suprir a demanda interna. Além disso, a cultura do grão-de-bico vem apresentando um notável aumento nas áreas de plantio nos últimos anos, saindo de cerca de 800 ha em 2017 para mais de 12.000 ha em 2019, um aumento de mais de 1000%.

Figura 7 - Grãos-de-bico.



Fonte: EMBRAPA, 2014.

Estudos como o de Schubert et al. (2011) mostram que a inoculação do solo com as bactérias *Rhizobium leguminosarum* pode aumentar significativamente a produção de grão-de-bico em até 35%, em comparação com culturas sem inoculação.

Ainda segundo Schubert et al. (2011), a FBN pode ser potencializada pela implementação de práticas agrícolas sustentáveis, como a aplicação de adubo verde na cultura anterior e a utilização de rotação de culturas.

Portanto, a FBN pode ser uma ferramenta muito importante na cultura do grão-de-bico, tanto do ponto de vista de produtividade agrícola quanto de sustentabilidade ambiental.

#### 6.1.4 Fixação biológica de nitrogênio na cultura do amendoim

A planta leguminosa conhecida como amendoim (*Arachis Hypogaea L.*), conforme mostrado na Figura 8, tem sua origem na América do Sul, mais especificamente na região sudoeste do continente onde foram encontrados registros de sua cultura há quase 3.000 anos no Peru. Tornou-se uma das culturas oleaginosas mais visadas globalmente, destacando-se tanto no setor agrícola quanto em pesquisas científicas e avanços tecnológicos voltados ao seu desenvolvimento (RODRIGUES, 2016).

Figura 8 – Sementes de amendoim.



Fonte: EMBRAPA, 2018.

Contudo, como qualquer outra cultura, o amendoim pode ser afetado por diversos tipos de problemas que limitam a produtividade, como pragas, doenças e questões nutricionais. Sua absorção de nutrientes e capacidade de retenção de água podem gerar deficiências no crescimento e redução da produtividade. Devido à natureza leguminosa da cultura, a adubação nitrogenada pode ou não ser necessária, já que ela pode se associar a bactérias fixadoras de nitrogênio da atmosfera.

Nesse sentido, as rizo bactérias possuem vantagens relacionadas à promoção do crescimento das plantas, tanto na parte aérea quanto na raiz, já que induzem a produção de hormônios indutores de crescimento e auxiliam na disponibilização de nutrientes. Essas bactérias também possuem a capacidade de fixar o nitrogênio e disponibilizá-lo às

raízes das plantas, aumentando sua disponibilidade. Quando ocorre a fertilização nitrogenada, as bactérias pertencem especificamente à espécie *Rhizobium sp. A. hypogaea*. (NOGUEIRA; TÁVORA, 2005).

A pesquisa sobre a FBN na cultura do amendoim tem sido extensiva, com o foco na seleção de cepas de *Rhizobium* mais eficientes em fixação de nitrogênio e em entender melhor os fatores que afetam este processo, como as pragas. Estudos indicam que diferentes cepas de *Rhizobium* têm níveis de eficiência variáveis de FBN no amendoim. Por exemplo, um estudo no Brasil mostrou que a estirpe *R. tropici CIAT 899* é capaz de fixar mais nitrogênio em plantas de amendoim em comparação com outras cepas (EMBRAPA, 2008).

#### 6.1.5 Fixação biológica de nitrogênio na cultura de lentilha

A lentilha (*Lens culinaris*), como ilustrado na Figura 9, é uma das plantas cultivadas mais antigas e era conhecida pelos egípcios e persas por suas sementes e ramos nutritivos como uma boa forragem e adubo verde.

Figura 9 - Grãos de lentilha.



Fonte: Canal Rural, 2010.

A inoculação de rizóbio em lentilhas é uma prática agrônômica fundamental para a obtenção de altas produtividades e melhorias na qualidade do cultivo.

Diversos estudos científicos têm demonstrado os benefícios da inoculação de rizóbio em lentilhas. Uma pesquisa realizada por Yusuf et al. (2017) avaliou a eficiência de diferentes estirpes de rizóbio na inoculação de lentilhas. Os resultados indicaram que a inoculação com estirpes selecionadas de rizóbio pode melhorar o crescimento, a

produtividade e a qualidade dos grãos de lentilha, além de reduzir a necessidade de fertilizantes nitrogenados.

Outro estudo publicado por Bilalis et al. (2017) demonstrou que a inoculação com rizóbio pode aumentar significativamente o crescimento e a produtividade de lentilhas em áreas com solos pobres e com baixa disponibilidade de nitrogênio. Os autores também observaram que a associação entre rizóbio e lentilhas pode contribuir para a melhoria da qualidade do solo e da biodiversidade microbiana.

Um estudo realizado por Muhammed et al. (2021) avaliou o efeito da inoculação de rizóbio em sementes de lentilhas em solos diferentes e os resultados indicaram que a inoculação com rizóbio aumentou significativamente o crescimento das plantas e a produção de sementes. Além disso, a inoculação também melhorou a fixação de nitrogênio pelas plantas, resultando em uma maior disponibilidade desse nutriente no solo.

Por último, o estudo realizado por Ghazitabar et al. (2018) demonstrou que a inoculação de lentilhas com rizóbio aumentou a atividade de enzimas antioxidantes nas plantas, melhorando sua tolerância ao estresse oxidativo.

Esses estudos demonstram a importância da inoculação de rizóbio em lentilhas como uma estratégia agrônômica para melhorar a produtividade e a qualidade das culturas, bem como para reduzir a dependência de fertilizantes nitrogenados sintéticos, que podem ser prejudiciais ao meio ambiente.

#### 6.1.6 Fixação biológica de nitrogênio na cultura de ervilha

A ervilha (*Pisum sativum*), Figura 10, é uma leguminosa anual nativa da Europa continental e também distribuída em partes da Ásia. O cultivo dessa leguminosa é adequado para montanhas e planaltos em altitudes em torno de 1.000 m, exigindo temperaturas quentes ou frias, mas não tolera geadas durante a floração e frutificação. A semeadura deve ser feita preferencialmente em abril, mas também pode ser feita de março a meados de maio. A colheita da estação chuvosa pode afetar a qualidade dos grãos (FILGUEIRA, 2002).

Figura 10 – Ervilhas verdes.



Fonte: Restrepo Gastronomia, 2018.

No Brasil, adaptou-se muito bem às regiões do sul e posteriormente também às condições do Cerrado, resultando em produtividade superior às demais regiões do país (DIAS, 2017).

Na cultura de ervilha, a FBN é especialmente importante, pois as ervilhas são plantas leguminosas, que têm simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio nas raízes. Essas bactérias formam nódulos nas raízes das plantas, onde convertem o nitrogênio gasoso em amônia, que é então utilizado pela planta para produzir proteínas e outros compostos nitrogenados.

Alguns estudos mostraram que a FBN pode fornecer a maior parte do nitrogênio necessário para as ervilhas, reduzindo a necessidade de aplicação de fertilizantes nitrogenados em até 60%. Além disso, a FBN também pode aumentar o rendimento das ervilhas e melhorar a qualidade do solo ao longo do tempo.

#### 6.1.7 Fixação biológica de nitrogênio na cultura de alfafa

Conforme definido por Rassini et al. (2008), a alfafa, ilustrada na Figura 11, é considerada uma das forrageiras mais importantes do mundo devido à sua ampla área de cultivo e às suas características notáveis, incluindo produtividade, qualidade proteica, palatabilidade, digestibilidade, capacidade de fixação de nitrogênio no solo e baixa sazonalidade na produção de forragem. Essa cultura é extremamente relevante para a alimentação de rebanhos leiteiros especializados e pode ser oferecida aos animais em

diversas formas, como feno, silagem, picada verde ou para pastejo, alcançando excelentes resultados em termos de produção de leite.

Figura 11 - Folhas de alfafa.



Fonte: Tua Saúde, 2023.

De acordo com Oliveira et al. (2004) e Diaz e Gambudo (2007), no Brasil, estima-se que 80% do nitrogênio presente na parte aérea das plantas de alfafa irrigada seja proveniente do processo de fixação biológica. Heichel e Vance (1988) sugerem que entre 43% e 64% do nitrogênio da alfafa pode ser obtido a partir do processo simbiótico. No entanto, o *Sinorhizobium meliloti*, uma estirpe de rizóbios de alfafa, não ocorre naturalmente no Brasil (HADDAD & CASTRO, 1999), o que impede a nodulação da alfafa com estirpes nativas (FRANCO, 1994).

Com relação à adubação nitrogenada em alfafa, os resultados na literatura são controversos. Embora alguns estudos indiquem que a adição de nitrogênio aumenta a produção (FEIGENBAUM & HADAS, 1980; LEDY et al., 1987), há evidências de que o efeito é pouco significativo ou ausente (GERWIG & AHLGREEN, 1985; LEE & SMITH, 1972). Hanson et al. (1988) afirmam que os resultados sobre a fertilização com nitrogênio mineral não são conclusivos devido à variabilidade dos níveis de N no solo, à efetividade do processo simbiótico e aos níveis de produtividade desejados e alcançados.

Oliveira e Tsai (2006) apontam que a alta concentração de nitrogênio proporcionada pela adubação nitrogenada pode prejudicar a formação de nódulos no sistema radicular, afetando a absorção natural de nitrogênio e comprometendo os programas de melhoramento da alfafa voltados para viabilidade econômica. Em resumo, os resultados disponíveis sobre adubação nitrogenada em alfafa são controversos,

sugerindo que seu uso nem sempre é recomendado, seja por motivos biológicos ou econômicos.

## **6.2 Fatores limitantes à fixação biológica de nitrogênio**

De acordo com JUNIOR e REIS (2008), as altas temperaturas combinadas com o estresse hídrico são fatores abióticos que podem limitar a formação e o desenvolvimento dos nódulos nas plantas, resultando na perda das vantagens da inoculação. Essas altas temperaturas também afetam a fixação biológica de nitrogênio e podem comprometer todas as fases da associação, especialmente a fase inicial da nodulação, que é crucial para a comunicação química entre a planta e a bactéria. Além disso, as altas temperaturas podem afetar a sobrevivência das bactérias no solo, conforme apontado por MERCANTE et al., (1998) e HUNGRIA et al., (1997).

Em situações de deficiência hídrica, a planta desencadeia uma série de reações que levam à diminuição dos pelos radiculares <sup>6</sup>(prolongamento de células que aumentam a superfície de contato, aumentando a capacidade de absorção da raiz), redução da área disponível para a formação de nódulos e, em alguns casos, até mesmo o abortamento de nódulos já existentes (JUNIOR & REIS, 2008).

Além dos fatores abióticos, fatores bióticos também podem interferir na fixação biológica de nitrogênio. As cultivares melhoradas foram selecionadas para responder à adubação nitrogenada, o que dificulta a capacidade de fixação biológica de nitrogênio. Além disso, o melhoramento genético visou selecionar plantas de ciclo curto, o que pode ser problemático para a simbiose devido ao tempo necessário para a nodulação ocorrer (ARAÚJO et al., 1996; ANDRADE et al., 2001). Normalmente, a nodulação ocorre entre 15 e 20 dias após a emergência da planta. Por essa razão, cultivares com ciclo mais longo tendem a apresentar melhores resultados na fixação biológica de nitrogênio, pois têm um período maior para assimilar o nitrogênio por meio da simbiose (BRITO, 2013).

Outro fator biótico que pode afetar a FBN é a baixa competitividade das estirpes de rizóbio presentes nos inoculantes comerciais em relação à microbiota do solo, devido à falta de adaptação às condições edafoclimáticas (DENARDIN, 1991).

A competitividade das estirpes de rizóbio é essencial para seu crescimento, sobrevivência e colonização dos sítios de nodulação, independentemente de outros

---

<sup>6</sup> Prolongamento de células que aumentam a superfície de contato, aumentando a capacidade de absorção da raiz.



rizóbios presentes no ambiente (FONSECA, 2011). A falta de resposta à inoculação muitas vezes pode estar relacionada à presença de endógenos mais agressivos ou rizóbios nativos (MERCANTE et al., 1992).

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de inoculantes biológicos, baseados em rizóbios, tem se mostrado uma estratégia promissora para melhorar a saúde do solo e reduzir a dependência de fertilizantes químicos na agricultura. No entanto, para recomendar o uso desses inoculantes, é fundamental realizar testes de eficácia em diferentes condições, seguindo as diretrizes estabelecidas pelo protocolo oficial do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

As leguminosas desempenham um papel importante nesse contexto, pois são capazes de fixar o nitrogênio atmosférico por meio da simbiose com os rizóbios, fornecendo proteína vegetal e reduzindo a vulnerabilidade da produção animal em períodos de escassez de água. No entanto, a utilização em larga escala das leguminosas como culturas de cobertura ou culturas principais enfrenta limitações econômicas devido ao alto custo da produção de sementes e mudas.

A crescente demanda por alimentos impõe desafios significativos que devem ser enfrentados de forma sustentável e produtiva. É fundamental priorizar soluções que reduzam o desperdício de alimentos e promovam a segurança alimentar global. Nesse contexto, a fixação biológica de nitrogênio surge como uma técnica importante para aumentar a produtividade das leguminosas, ampliando sua capacidade de suprir a demanda por nutrientes do solo.

Ao promover a fixação biológica de nitrogênio, é possível reduzir a necessidade de adubação nitrogenada, diminuindo os custos de produção e os impactos ambientais associados ao uso de fertilizantes químicos. Além disso, a FBN contribui para a sustentabilidade ambiental, pois reduz a poluição do solo e da água causada pelo excesso de fertilizantes.

É importante ressaltar que a fixação biológica de nitrogênio pode não ser suficiente para atingir todo o potencial de produtividade das leguminosas em algumas culturas, como a soja, o feijão e o grão-de-bico. Nessas situações, é necessária a complementação com fertilizantes nitrogenados para garantir o suprimento adequado de nutrientes.

A utilização de inoculantes à base de rizóbios tem sido uma estratégia promissora para maximizar a FBN nas leguminosas, mas existem desafios a serem superados, como a resposta instável dos inoculantes no campo e a competição com outros microrganismos presentes no solo.

Portanto, é fundamental continuar investindo em pesquisas, visto que vários dos estudos disponíveis para a revisão literária são antigos, que promovam o desenvolvimento sustentável do setor agropecuário, buscando melhorar a eficiência da fixação biológica de nitrogênio, identificar cultivares mais compatíveis com os rizóbios e desenvolver práticas agrícolas que potencializem esse processo. Essa técnica desempenha um papel fundamental na agricultura sustentável, reduzindo os impactos ambientais e promovendo a produtividade agrícola de forma eficiente. É necessário continuar aprimorando os conhecimentos sobre a fixação biológica de nitrogênio, superar os desafios técnicos e promover sua adoção em larga escala.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M. J. B. et al. **Resposta do feijoeiro as ás adubações nitrogenadas e molibdica e a inoculação com *Rhizobiion tropici***. Ciência e Agrotecnologia, v. 25, 4, p. 930 – 940, Jul., 2001.
- ARAÚJO, F. F. DE; MUNHOZ, R. E. V.; HUNGRIA, M. **Início da nodulação em sete cultivares de feijoeiro inoculadas com duas estirpes de *Rhizobium***. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.31, p.435-443, 1996.
- AZEVEDO, J. **O que é turfa?** Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/turfa/>>. Acesso em: 03 jul. 2023.
- BALBINOT, L. A. **Modos e doses de aplicação de inoculante na soja, em Sinop-MT**. Sinop- MT, 2018.
- BILALIS, D. J., KONSTANTAS, A., KARKANIS, A., & EFTHIMIADOU, A. (2017). **Yield and quality response of lentil (*Lens culinaris*) to rhizobia and nitrogen application rates**. Emirates Journal of Food and Agriculture, 29(6), 446.
- BRITO, L. F. **Iniciação da nodulação em cultivares de feijoeiro**. 2013. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, UFRJ, Seropédica, 2013.
- BRITO, M.M.P.; MURAOKA, T.; SILVA, E.C. **Contribuição da fixação biológica de nitrogênio, fertilizante nitrogenado e nitrogênio do solo no desenvolvimento de feijão e caupi**. Bragantia, Campinas, v. 70, n. 1, p.206- 15, 2011.
- CARDOSO, E.J.B.N.; FREITAS, S.S. A rizosfera. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 41-58.
- CASSETARI, A.S.; SILVA, M.C.P.da.; CARDOSO, E.J.B.N. **Fixação biológica de nitrogênio simbiótica**. In: CARDOSO, E.J.B.N.; ANDREOTE, F.D. (ed.) **Microbiologia do solo**. Piracicaba: ESALQ, 2016. p. 111-31.
- CropLife Brasil. **Fixação biológica de nitrogênio**. Disponível em: <<https://croplifebrasil.org/noticias/fixacao-biologica-nitrogenio/2020-09-fixacao-biologica-nitrogenio/>>. Acesso em: 25 mai 2023.
- CRUZ, J. L. D.; **Efeito de *Trichoderma* spp. no potencial fisiológico de sementes e mudas de melão**. 2010. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.
- CAMPO, R. J.; CUNHA, M. H. da. **Cuidados com o inoculante**. EMBRAPA Soja. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/producao/inoculacao-e-inoculante/cuidados-com-o-inoculante>>. Acesso em: 03 jul. 2023.

DANTAS, E. A.; **Efeito de inoculantes e adubação em cultivar de soja produzida no município de Areia- PB.** Areia- PB, 2018.

DENARDIN, N. D. **Seleção de estirpes de *Rhizobium leguminosarum* bv. Phsaoli tolerantes a fatores de acidez e resistente a antibióticos.** 1991. 89f. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas) – Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1991.

DIAS, J. A. DE C. **Enriquecimento de sementes de ervilha com molibdênio, fixação simbiótica de nitrogênio, produção e qualidade de sementes.** Dissertação (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2017. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/150242>>. Acesso em: 28 mai. 2023.

DIAZ, M.Z.; GAMBUDO, S. **Fertilización y encalado em alfalfa.** In: BASIGALUP, D.H. (Ed.) El cultivo de la alfalfa en la Argentina. Buenos Aires: INTA, 1986. P.81-117.

DOGRA, R.C.; DUDEJA, S.S. **Fertilizer N and nitrogen fixation in legume-*Rhizobium* symbiosis.** Annals of Biology, v. 9, p. 149-64, 1993.

EMBRAPA. **A inoculação do feijoeiro no Brasil: Alternativas para aumentar a produtividade utilizando microrganismos promotores do crescimento vegetal.** Brasília, 2021. (Documento/Embrapa, n. 384).

EMBRAPA. Algumas limitações à fixação biológica de nitrogênio em leguminosas. Seropédica, 2008. (Documento/Embrapa, n. 252).

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília, 370p. 2004.

EMBRAPA SOJA. **Protocolo para análise da qualidade e da eficiência agrônômica de inoculantes, cepas e outras tecnologias relacionada ao processo de fixação biológica do nitrogênio em leguminosas.** Anais da 13ª Reunião da Rede de Laboratórios para Recomendação, Padronização e Difusão de Tecnologia de Inoculantes Microbianos de Interesse Agrícola (RELARE). Londrina: EMBRAPA SOJA, 2007. 212p. – (Documento/Embrapa Soja, n.290).

FEIGENBAUM, S.; HADAS, A. **Utilization of fertilizer nitrogen nitrogen-15 by field grown alfalfa.** Soil Science, Madison, v. 44, n.5, p. 1006-1010, 1980.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças.** Viçosa, MG: UFV, 2002. 402 p.

FONSECA, G. G. **Resposta de cultivares de feijoeiro-comum a inoculação das sementes estirpes de rizóbios de Minas Gerais.** 2011. 166 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

FRANCO, A.A.; NEVES, M.C.P. **Fatores limitantes à fixação biológica de nitrogênio.** In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. Microbiologia do solo. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 219-30.

FREIRE, J.R.J. **Fixação do nitrogênio pela simbiose rizóbio/leguminosas.** In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. Microbiologia do solo. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 121-40.

GERWIG, J. L.; AHLGREEN, G. H. **The effect of different fertility levels on yield, persistence, and chemical composition of alfalfa.** Agronomy Journal, Madison, v. 50, p.291-294, 1958.

GHAZITABAR, E., FOTOUHI, K., & SIAHSAR, B. (2018). **Effect of rhizobium inoculation on antioxidant enzyme activity and gene expression of lentils under drought stress.** Journal of Plant Nutrition, 41(14), 1726-1734.

GODOY, R.; SANTOS, P.M. Guandu. In: FONSECA, D.M.; MARTUSCELLO, J.A. (Ed.) **Plantas forrageiras.** Viçosa: UFV, 2011. p. 294-309.

HADDAD, C.M.; CASTRO, F.GF. **Sistemas de produção.** In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 16., 1999, Piracicaba. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1999b. p.7-22.

HANSON, A.A.; BARNES, D.K.; HILL, R.R.; EDS. **Alfalfa and alfalfa improvement, Madison: American Society of Agronomy, 1988. 1084p.**

HEICHEL, G.H.; VANCE, C.P. **Symbiotic Nitrogen Fixation of Alfalfa, Birdsfoot Trefoil, and Red Clover,** 1979. In: HANSON, A.A.; BARNES, D.K.; HILL, Jr. R.R. Alfalfa and improvement. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 1998.p. 345-349. (Agronomy: A Series of Monograph, 29)

HUANG, J.; AFSHAR, R.K.; TAO, A.; CHEN, C. **Efficacy of starter N fertilizer and rhizobia inoculant in dry pea (*Pisum sativum* Linn).** Production in a semi-arid temperate environment. Soil Science and Plant Nutrition, v. 63, n. 3, p. 248-53, 2017.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo.** Londrina: EMBRAPA SOJA, 2011. 37P (EMBRAPA SOJA. Documentos, 325).

HUNGRIA, M.; JUNIOR, O. B.; **Efeitos de doses de inoculante turfoso na fixação biológica de nitrogênio pela cultura da soja.** Londrina- PR, 2000.

HUNGRIA, M. et al. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro.** Londrina: Embrapa Soja, 80 p. (Embrapa Soja. Documentos, 283). 2007.

HUNGRIA, M., VARGAS, M. A. T. (2000). **Fixação biológica do nitrogênio em sistemas de produção agrícola.** Ciência Rural, 30(5), 739-748.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T.; ARAUJO, R.S. **Fixação biológica do nitrogênio em feijoeiro** in: VARGAS, M.A.T., HUNGRIA, M. (Eds). Biologia dos solos dos cerrados. EMBRAPA-CPAC, p 1-295, 1997.

JUNIOR, P. I. V.; REIS, V.M. **Algumas limitações para fixação biológica de nitrogênio em leguminosas**. Seropédica. V. n. 40. 2008.

LEE, C.T.; SMITH, D. **Influence of N fertilizer on stands yields of herbage, on protein, and nitrogenous fractions of field - alfalfa**. Agronomy Journal, Madison, v. 64, n.4, p.527-530, 1972.

LEEDY, C. D.; MILLER, W.W.; ROBINSON, G.D. **Effect of nutrient source on alfalfa production in Southern Nevada**. Journal Fertilizer, St. Louis, v. 4, n.4. p. 138-142, 1987.

LEMPP, B. Anatomia de Plantas forrageiras. In: REIS, R.; BERNARDES, T. F. e SIQUEIRA, G. R. (Ed.). **Forragicultura: ciência, tecnologia e gestão dos recursos forrageiros**. Jaboticabal: Maria de Lourdes Brandel-ME, 2013. p.26-49.

LI, Y.; PAN, F.; YAO, H. **Response of symbiotic and asymbiotic nitrogen-fixing microorganisms to nitrogen fertilizer application**. Journal of Soils and Sediments, v. 19, p. 1948-58, 2019.

LUSCHER, A.; MUELLER-HARVEY, I.; SOUSSANA, J. F.; REES, R. M.; PEYRAUD, J. L. **Potential of legume-based grassland–livestock systems in Europe: a review**. Grass and Forage Science, Zurich, v. 69, n. 2, p. 206-228, 2014.

MERCANTE, F. M. et al. **A inoculação do feijoeiro-comum com rizóbio**. Seropedia EMBRAPA-CNPBS, 1992 8p.

MERCANTE, F. M. et al. **Leucaena leucocephala as a trap – host for *Rhizobium tropici* strains from the brasilian “Cerrado” region**. Revista de microbiologia, São Paulo, v. 29, p. 49-58, 1998.

MOREIRA, F. M. S., LIMA, H. N., SOARES, B. L. (2012). **Fixação biológica de nitrogênio: Procedimentos metodológicos**. EMBRAPA Agrobiologia-Artigo em periódico indexado (ALICE).

MUHAMMED, A., DAS, R. R., & HUDA, Q. S. (2021). **Effect of Rhizobium Inoculation on Growth and Yield Contributing Characters of Lentil**. International Journal of Agriculture and Biology, 28(2), 347-354.

MUIR, J. P.; PITMAN, W. D.; DUBEUX JR, J. C.; FOSTER, J. L. **The future of warm season, tropical and subtropical forage legumes in sustainable pastures and rangelands**. African Journal of Range & Forage Science, Pietermaritzburg, v. 31, n. 3, p. 187-198, 2014.

NETO, S. P. **A Adubação Nitrogenada na Agricultura**. Disponível em: <<https://www.austertecnologia.com/single-post/nitrogenio-na-agricultura>>. Acesso em: 28 mai 2023.

NOGUEIRA, R.J.M.; TÁVORA, F.J.A.F.; Ecofisiologia do amendoim. In: DOS SANTOS, R.C. **O agronegócio do amendoim no Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. p.71-122.

OLIVEIRA, P.P.A.; TSAI, S.M. **Avaliação da fixação biológica de nitrogênio em alfafa inoculada com estirpes comerciais de *Sinorhizobium meliloti***. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006. p.6. (Comunicado Técnico, 70).

OLIVEIRA, W. S.; OLIVEIRA, P. P. A.; CORSI, M.; DUARTE, F. R. E.; TSAI, S. M. **Alfalfa yield and quality as function of nitrogen fertilization and symbiosis with *Sinorhizobium meliloti***. Scientia Agrícola, Piracicaba, v. 71, n. 4, p. 443-438. 2004.

PEREIRA, O. G.; DA SILVA, T. C.; RIBEIRO, K. G. **Tropical Legume Silages**. In: PEREIRA, O. G.; FONSECA, D. M.; RIBEIRO, K. G.; CHIZZOTTI, F. H. M. (Ed.). VI Simpósio sobre manejo estratégico de pastagem. Viçosa, 2012. p. 269-284.

RASSINI, J.B.; FERREIRA, R.D.P; CAMARGO, A.C. **Cultivo e Estabelecimento da Alfafa**. In: FERREIRA, R.D.P et al. (Ed.). Cultivo e utilização de alfafa nos trópicos. São Carlos: EMBRAPA Pecuária Sudeste, 2008. 469 p.

RODRIGUES, E. V. **Eficiência de herbicidas no controle de plantas daninhas na cultura do amendoim (*Arachis hypogea* L.): cultivar br-1**. 2016.

RODRIGUES, L. F. O. S. et al. **Características agrônômicas do trigo em função de *Azospirillum brasilense*, ácidos húmicos e nitrogênio em casa de vegetação**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 18, n. 1, p. 31-37. 2014.

ROMAGNOLI, E.M.; ANDREOTE, F.D. Rizosfera. In: CARDOSO, E.J.B.N.; ANDREOTE, F.D. (ed.) **Microbiologia do solo**. Piracicaba: ESALQ, 2016. p. 47-60.

SANTOS, A. D. **VIABILIDADE DA INOCULAÇÃO DE SEMENTES DE SOJA COM PRODUTOS COMERCIAIS A BASE DE *BRADYRHIZOBIUM JAPONICUM* ANTES DA SEMEADURA**. Palotina: UFPR, 2013.

SANTOS, M. S. dos. **Cuidados com o uso do inoculante turfoso**. Equipe Mais Soja. Disponível: <<https://maissoja.com.br/cuidados-com-o-uso-do-inoculante-turfoso/>>. Acesso em: 03 jul. 2023.

SCHUBERT, S., FISCHER, M., HENSELEK, Y., MÜLLER, M., SCHMIDTKE, K., & Sommer, M. (2011). **Improved yield of desi and kabuli chickpea using rhizobacteria from naturally adapted soils in northwestern India**. Plant and soil, 340(1-2), 359-372.

SILVA, R. M. da et al. **INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS FIXADORAS DE NITROGÊNIO EM PLANTAS**. In: IX - ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFPR, 2015, Curitiba. Anais... Curitiba: UFPR, 2015. p. 1-14.

SILVA, J. S. **Avaliação da eficiência da fixação biológica de nitrogênio na produção de feijão**. Relatório de estágio da UnB, 2016, Planaltina.

SOARES, B.L.; FERREIRA, P.A.A.; RUFINI, M.; MARTINS, F.A.D.; OLIVEIRA, D.P.; REIS, R.P.; ANDRADE, M.J.B.de.; MOREIRA, F.M.S. **Agronomic and**



**Economic efficiency of common-bean inoculation with rhizobia and mineral nitrogen fertilization.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 40, 13p, 2016.

SOLLENBERGER, L. E.; DUBEUX JR, J. C. B.; MUIR, J. P. **Establishment and Management of legume-grass pastures.** In: PEREIRA, O. G.; FONSECA, D. M.; RIBEIRO, K. G.; CHIZZOTTI, F. H. M. (Ed.). VII Simpósio sobre manejo estratégico de pastagem. Viçosa, 2014. p. 135-175.

SULLIVAN, P., & ANDREWS, J. (2018). **Biological nitrogen fixation in peas.** UC Sustainable Agriculture Research and Education Program. Disponível em: <http://asi.ucdavis.edu/programs/sarep/research-and-success-stories/biological-nitrogen-fixation-in-peas>. Acesso em: 11 mai. 2023

TSAI, S.M.; BONETTI, R.; AGBALA, S.M.; ROSSETTO, R. **Minimizing the effect of mineral nitrogen on biological nitrogen fixation in common bean by increasing nutriente levels.** Plant and Soil, v. 152, p. 131-38, 1993.

XAVIER, T.F.; ARAÚJO, A.S.F.de.; SANTOS, V.B.; CAMPOS, F.L. **Inoculação e adubação nitrogenada sobre a nodulação e a produtividade de grãos de feijão-caupi.** Ciência Rural, v. 38, n. 7, p. 2037-41, 2008.

**População mundial deve crescer em 2,2 bilhões até 2050.** Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2022/06/1794212>. Acesso em: 01 mai. 2023.

**Protocolo oficial para avaliação da viabilidade e eficiência agrônômica de cepas, inoculantes e tecnologias relacionados ao processo de fixação biológica do nitrogênio em leguminosas.** Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/registo-de-produtos-e-estabelecimentos/arquivosrpe/IN132011inoculprotocoloprocfixbiologicadoNemleguminosalterado3512.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2023.

STUPAK, M., FERREIRA, M. C., & NEVES, M. C. P. (2001). **Fixação biológica do nitrogênio em algumas leguminosas cultivadas no Brasil.** Ciência Rural, 31(4), 739-746.

van Dijk, M., Morley, T., Rau, M.L. *et al.* **A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050.** *Nat Food* 2, 494–501 (2021). <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9>

**World Population Prospects 2022: Summary of Results.** United Nations – Population Division. Disponível em: <https://www.un.org/development/desa/pd/content/World-Population-Prospects-2022>. Acesso em: 03 jul. 2023.

YUSUF, A., & HAYAT, Z. (2017). **Effectiveness of rhizobia strains on lentil growth, yield and nitrogen fixation.** Pakistani Journal of Agriculture, Agricultural Engineering and Veterinary Sciences, 33(1), 7-15.