

INSTITUTO FEDERAL GOIANO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

CENTRO DE EXCELÊNCIA EM BIOINSUMOS

COORDENAÇÃO DE CAPACITAÇÃO EM BIOINSUMOS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *lato sensu* EM BIOINSUMOS

IF GOIANO CAMPUS POSSE

FELIPE DOS SANTOS DE OLIVEIRA

***Azospirillum brasilense*: UMA REVISÃO SOBRE A INOCULAÇÃO DO
MILHO VERDE NO BRASIL**

POSSE, GO

2026

FELIPE DOS SANTOS DE OLIVEIRA

***Azospirillum brasilense*: UMA REVISÃO SOBRE A INOCULAÇÃO DO MILHO
VERDE NO BRASIL**

Monografia apresentada à Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação em Bioinsumos do Instituto Federal Goiano – Campus Posse, como exigência parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Dr. Lucas Felisberto Pereira

POSSE, GO

2026

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

O48a Oliveira, Felipe dos Santos de
Azospirillum brasilense: UMA REVISÃO SOBRE A
INOCULAÇÃO DO MILHO VERDE NO BRASIL / Felipe dos
Santos de Oliveira. Posse 2026.

53f.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Felisberto Pereira.
Monografia (Especialista) - Instituto Federal Goiano, curso de
0730426 - Especialização em Bioinsumos - Posse (Campus
Posse).

1. Agricultura sustentável. 2. Bactéria promotora do crescimento
de plantas. 3. Inoculação microbiana. 4. Nitrogênio. 5. Zea mays
L. I. Título.

ERRATA

FOLHA	LINHA	ONDE SE LÊ	LEIA-SE
1	1	Ministério da Educação	Instituto Federal Goiano de Educação, Ciência e Tecnologia
1	2	Secretaria de Educação Profissional e	Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação
1	3	Tecnológica	Centro de Excelência em Bioinsumos
1	4	Instituto Federal de Educação, Ciência e	Coordenação de Capacitação em Bioinsumos
1	5	Tecnologia Goiano - Campus Posse	Programa de Pós-Graduação <i>Lato Sensu</i> Em Bioinsumos
1	6	Pós-Graduação em Bioinsumos	IF Goiano Campus Posse
2	7	Título de Pós-Graduado em Bioinsumos	Título de Especialista



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|---|---|
| ☐ Tese (doutorado) | ☐ Artigo científico |
| ☐ Dissertação (mestrado) | ☐ Capítulo de livro |
| ☒ Monografia (especialização) | ☐ Livro |
| ☐ TCC (graduação) | ☐ Trabalho apresentado em evento |

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Felipe dos Santos de Oliveira

Matrícula:

2024 107304260003

Título do trabalho:

Azospirillum brasilense: UMA REVISÃO SOBRE A INOCULAÇÃO DO MILHO VERDE NO BRASIL

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: / /

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☒ Sim ☐ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.



Documento assinado digitalmente
FELIPE DOS SANTOS DE OLIVEIRA
Data: 22/07/2026 18:15:26-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Salvador/BA
Local

22 / 07 / 2026
Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)



Documento assinado digitalmente
LUCAS FELISBERTO PEREIRA
Data: 08/09/2026 17:37:56-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 14/2026 - CCBAGR-POS/CE-POS/GE-POS/CMPPPOS/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos **27 dias do mês de março de 2026**, às 17 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pelos membros: Prof. Dr. Lucas Felisberto Pereira (orientador), Prof. Dr. George Oliveira Barros (membro) e Prof. Dr. Danilo Gomes de Oliveira (membro), para examinar o Trabalho de Curso (TC) intitulado **“Azospirillum brasilense: UMA REVISÃO SOBRE A INOCULAÇÃO DO MILHO VERDE NO BRASIL”** do estudante **Felipe dos Santos de Oliveira, Matrícula nº. 2024107304260003** do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Bioinsumos do IF Goiano – Campus Posse / Centro de Excelência em Bioinsumos (CEBIO). A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do TC, em seguida houve arguição pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela **APROVAÇÃO** do estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Prof. Dr. Lucas Felisberto Pereira

Orientador

(Assinado Eletronicamente)

Profa. Dr. George Oliveira Barros

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Prof. Dr. Danilo Gomes de Oliveira

Membro

Documento assinado eletronicamente por:

- **Lucas Felisberto Pereira**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 28/07/2026 14:18:59.
- **George Oliveira Barros**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 28/07/2026 14:38:25.
- **Danilo Gomes de Oliveira**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 28/07/2026 18:58:45.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 28/07/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 842146

Código de Autenticação: efe3c8faa3



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Posse

Rodovia GO - 453 km 2,5, Fazenda Vereda do Canto, SN, Distrito Agroindustrial, POSSE / GO, CEP 73900-000

(62) 9390-5391, (62) 3605-3698

DEDICATÓRIA

À minha amada, eterna e insubstituível esposa Jeane dos Santos e às minhas filhas Anne Isabelly e Anne Louise.

AGRADECIMENTOS

À Santíssima Trindade, Meu Senhor e Meu Deus!

À Sempre Virgem Mãe de Deus, pois tudo que é meu, pertence ao seu amabilíssimo Filho Jesus Cristo, por meio dela.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano), ao Programa de Pós-Graduação em Bioinsumos e seu corpo docente, e ao Centro de Excelência em Bioinsumos (CEBIO), por proporcionarem a oportunidade e os meios para o aperfeiçoamento e enriquecimento profissional no ramo dos insumos agrícolas biológicos.

Ao meu orientador, Prof. Lucas Felisberto Pereira, pelos ensinamentos, orientação acadêmica, conselhos, advertências, amizade, sabedoria, confiança, compreensão, paciência, bem como pela perseverança e persistência para que o meu objetivo profissional fosse alcançado.

Aos amigos Professores Pedro Soares Vidigal Filho e Murilo Fuentes Pelloso, por serem os primeiros a me despertar que o presente e o futuro da agricultura sustentável passam pelos bioinsumos.

Ao meu coordenador, Michel Íris dos Santos, pelo incentivo e total apoio.

A todos não mencionados, porém que contribuíram mesmo que indiretamente para conclusão desta etapa na minha vida.



CEBIO
Centro de Excelência em Bioinsumos



FAPEG
Fundação de Amparo à Pesquisa
do Estado de Goiás

FUNAPE
Fundação de Apoio à Pesquisa

Minha intenção última está na ciência de Deus

Santo Alberto Magno, Doutor da Igreja e Patrono dos
cultores das Ciências Naturais

Um pouco de ciência nos afasta de Deus. Muito,
nos aproxima.

Louis Pasteur, pai da Microbiologia Moderna

RESUMO

O milho verde é uma cultura importante no Brasil, sendo cultivado em todas as regiões do país. No entanto, para sustentar sua produção em regiões tropicais normalmente requer altas doses de fertilizantes químicos, que, quando aplicados em excesso, aumenta os custos de produção da cultura e os riscos de contaminação hídrica, edáfica e atmosférica. A inoculação com bactérias promotoras do crescimento vegetal, como *Azospirillum*, surgiu como uma alternativa para reduzir a dependência de N-fertilizantes. Há, inclusive, reconhecimento da relevância dos inoculantes, consolidado no Programa de Bioinsumos do Estado de Goiás. Objetivou-se, com esta revisão, fornecer informações sobre a adoção da *Azospirillum brasilense* no desempenho produtivo do milho verde no Brasil, por meio de abordagens descritas nas principais literaturas científicas da atualidade. Assim, reunimos os resultados obtidos até o momento quanto à aplicação da *A. brasilense* na cultura. O uso de *A. brasilense* tem se intensificado nos últimos anos em diversas culturas agrícolas, com destaque para milho, trigo, arroz, soja e feijão-comum. No milho destinado à produção de grãos, várias pesquisas apresentaram resultados expressivos de aumento no crescimento de raízes, na absorção de água e nitrogênio, na produtividade de grãos e no lucro operacional. No entanto, pesquisas sobre inoculação em milho verde ainda são limitadas. Muitos grandes produtores brasileiros já são adeptos de bioinoculantes, de modo que o foco educacional sobre tais bioinsumos devem agora ser direcionados principalmente aos médios e pequenos agricultores. O sucesso alcançado nas principais regiões produtoras do Brasil durante a 1ª e 2ª Safra pode estimular estudos em outras regiões do país e no exterior, adotando estirpes nativas de *Azospirillum* spp.

Palavras-chave: Agricultura sustentável. Bactéria promotora do crescimento de plantas. Inoculação microbiana. Nitrogênio. *Zea mays* L.

ABSTRACT

Green corn is an important crop in Brazil, being cultivated in all regions of the country. However, sustaining its production in tropical regions usually requires high doses of chemical fertilizers, which, when applied in excess, increase production costs and the risks of water, soil, and atmospheric contamination. Inoculation with plant growth-promoting bacteria, such as *Azospirillum*, has emerged as an alternative to reduce dependence on N-fertilizers. There is even recognition of the relevance of inoculants, consolidated in the Bioinputs Program of the State of Goiás. The objective of this review was to provide information on the adoption of *Azospirillum brasilense* in the productive performance of green corn in Brazil, through approaches described in the main current scientific literature. Thus, we compiled the results obtained so far regarding the application of *A. brasilense* in this crop. The use of *A. brasilense* has intensified in recent years in several agricultural crops, especially corn, wheat, rice, soybean, and common bean. In corn intended for grain production, several studies have shown significant results in increasing root growth, water and nitrogen uptake, grain yield, and operational profit. However, research on inoculation in green corn is still limited. Many large Brazilian producers are already adopting bioinoculants, so educational efforts regarding such bioinputs should now be directed mainly toward medium and small farmers. The success achieved in the main producing regions of Brazil during the 1st and 2nd Harvests may encourage studies in other regions of the country and abroad, adopting native strains of *Azospirillum* spp.

Keyword: Sustainable agriculture. Plant growth-promoting bacteria. Microbial inoculation. Nitrogen. *Zea mays* L.

LISTA DE SIGLAS

ATP	– Adenosina trifosfato
BPCP's	– Bactérias promotoras do crescimento de plantas
CH ₄	– Metano
CONAB	– Companhia Nacional de Abastecimento
CO ₂	– Dióxido de carbono
DNA	– Ácido desoxirribonucleico
FAO	– Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
FBN	– Fixação biológica de nitrogênio
GEE	– Emissão de gases de efeito estufa
GOGAT	– Glutamato sintase
GS	– Glutamina sintetase
IF Goiano	– Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano
IPCC	– Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
MATOPIBA	– Acrônimo de Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia
N	– Nitrogênio
NADPH	– Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo Fosfato Reduzida
NH ₃	– Amônia
NH ₄ ⁺	– Amônio
NO	– Óxido nítrico
NO ₂ ⁻	– Nitrito
NO ₃ ⁻	– Nitrato
N ₂	– Dinitrogênio
N ₂ O	– Óxido nitroso
RNA	– Ácido ribonucleico
SEALBA	– Acrônimo de Sergipe, Alagoas e Bahia

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	4
AGRADECIMENTOS	5
EPÍGRAFE	6
RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
LISTA DE SIGLAS	9
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. METODOLOGIA	14
3. OBJETIVOS.....	15
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
4.1 PRODUÇÃO DE ESPIGAS VERDES E GRÃOS DE MILHO NO BRASIL E NO MUNDO.....	16
4.2 NITROGÊNIO E O USO DE N-FERTILIZANTE	19
4.3 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO N ₂ ATMOSFÉRICO	23
4.4 INOCULAÇÃO COM <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i> NO MILHO GRÃO E NO MILHO VERDE.....	25
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	32
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma das espécies vegetais mais antigas e amplamente cultivadas no mundo, sendo domestica há aproximadamente 9.000 anos, a partir do teosinto (*Zea mays* ssp. *parviglumis*) no México (DOEBLEY, 2004). Atualmente, os principais produtores e consumidores são os Estados Unidos e a China, seguidos pelo Brasil (FAO, 2025). Diante do elevado potencial produtivo da cultura, é plausível considerar que o território brasileiro apresenta condições favoráveis à produção de milho para diversos fins, com destaque para o consumo na forma de espigas verdes.

Devido ao seu maior valor comercial, frequentemente superior ao do milho grãos secos, o cultivo de milho para comercialização na forma de espiga verde tem se expandido de modo considerável (PINHO et al., 2008), sendo praticado em todas as regiões do Brasil (SOUZA et al., 2019). Apesar dessa expansão, não há dados oficiais sobre a área cultivada e a produção de espigas verdes no país, que provavelmente está abaixo do potencial da cultura. Além disso, a baixa disponibilidade de nutrientes nas regiões tropicais, especialmente de nitrogênio (N), é um dos principais fatores limitantes da produtividade agrícola (OLIVEIRA et al., 2009; MARTINS et al., 2018).

O N é, em geral, o nutriente mais exigido pelas culturas não leguminosas, sendo frequentemente necessária a aplicação adicional de N-fertilizantes para suprir suas demandas nutricionais (TEIXEIRA FILHO et al., 2014; GALINDO et al., 2016). No entanto, a crescente dependência dos sistemas agrícolas por adubos químicos é motivo de preocupação, uma vez que seu uso inadequado tem causado impactos ambientais significativos, como eutrofização de corpos d'água, acidificação do solo e poluição do ar (LONGHINI et al., 2016; TEI et al., 2020; MARTÍNEZ-DALMAU; BERBEL; ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ, 2021).

Os fertilizantes nitrogenados representam insumos de alto custo para o cultivo de cereais (NUNES et al., 2015). Ademais, ocorre perda expressiva do N-sintético aplicado durante o ciclo das culturas, principalmente nas formas de amônia (NH_3), nitrato (NO_3^-) e óxido nitroso (N_2O), o que compromete a eficiência de uso do nutriente (CANTARELLA et al., 2018). Essas perdas tendem a aumentar proporcionalmente de acordo com os níveis de fertilizante nitrogenado utilizados (MODOLO et al., 2018).

Nos últimos anos, uma estratégia promissora para mitigar os impactos negativos da adubação nitrogenada tem sido o uso de bactérias diazotróficas associativas, com destaque para *Azospirillum brasilense*. Estas bactérias podem exercer funções relevantes na absorção de nutrientes, atuando como biofertilizantes (SANTOS; NOGUEIRA; HUNGRIA, 2019),

estimuladoras do crescimento vegetal (ZAHEER et al., 2019) e indutoras de tolerância a estresses bióticos e abióticos (PII et al., 2015; CURÁ et al., 2017).

O Brasil possui uma trajetória consolidada de pesquisas sobre a fixação biológica de nitrogênio (FBN) pelo gênero *Azospirillum*, especialmente em associação com plantas da família Poaceae (TARRAND; KRIEG; DÖBEREINER, 1978; BALDANI; DÖBEREINER, 1980; HUNGRIA et al., 2010; NUMOTO et al., 2019; HUNGRIA et al., 2021; BARBOSA et al., 2022; HUNGRIA et al., 2022; GALINDO et al., 2024; OLIVEIRA et al., 2025). A promoção do crescimento vegetal por *A. brasilense* envolve múltiplos mecanismos, destacando-se a síntese intensificada de fitormônios como ácido indol-3-acético, giberelinas, citocininas, etileno, ácido abscísico e ácido salicílico (CASSÁN; DIAZ-ZORITA, 2016; CASSÁN et al., 2020), os quais estimulam o desenvolvimento radicular e, por consequência, otimizam a captura pelas raízes de água e nutrientes do solo (ARDAKANI et al., 2011). Outros mecanismos incluem a FBN (MARQUES et al., 2017), a solubilização de fósforo inorgânico (TURAN et al., 2012), a melhoria do potencial hídrico, a redução da abertura dos estômatos e da taxa de transpiração, especialmente sob condições de déficit hídrico (COHEN et al., 2015), o aumento da atividade da nitrato redutase (PEREIRA-DEFILIPPI et al., 2017), dentre outros efeitos benéficos. Diante da diversidade de mecanismos envolvidos, propõe-se que as bactérias do gênero *Azospirillum* atuem de forma cumulativa ou sequencial, conforme a Teoria de Múltiplos Mecanismos (BASHAN; DE-BASHAN, 2010).

Apesar dos benefícios proporcionados por *A. brasilense* em culturas da família Poaceae, a diazotrófica não é capaz de atender integralmente à demanda de N, tornando-se necessária, via de regra, a suplementação com fertilizantes sintéticos à base de N. No entanto, a aplicação desses insumos pode ser reduzida entre 15% e 50% sem interferir significativamente nas produtividades (ARAÚJO et al., 2014; GALINDO et al., 2022; HUNGRIA et al., 2022).

As primeiras estirpes comerciais de *A. brasilense* (Ab-V5 e Ab-V6) foram lançadas em 2009 no mercado brasileiro para milho e trigo (*Triticum aestivum* L.) (HUNGRIA et al., 2010). Houve grande interesse em pesquisas com essas estirpes no Brasil, incluindo a expansão para outras culturas, tais como: arroz (*Oryza sativa* L.) (BUZO et al., 2019), pastagens com braquiárias (*Urochloa* spp.) (HUNGRIA; NOGUEIRA; ARAUJO, 2016), coinoculação na soja (*Glycine max* L. Merr.) e no feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) (HUNGRIA; NOGUEIRA; ARAUJO, 2013). Os inoculantes contendo essas estirpes também ganharam destaque entre os produtores brasileiros, alcançando a comercialização anual superior a 10,5 milhões de doses em 2020 (SANTOS; NOGUEIRA; HUNGRIA, 2021).

O milho é o cereal mais amplamente inoculado com *A. brasilense* no Brasil (BARBOSA et al., 2022), com relatos de diversos benefícios na cultura, incluindo o aumento da produtividade de grãos. No entanto, para o milho verde, trabalhos relacionados ao efeito do uso do *Azospirillum* sobre a produtividade da cultura são escassos, demandando pesquisas sobre a possibilidade de substituição da adubação nitrogenada pela inoculação com *A. brasilense*. Nesta revisão, compilamos os estudos conduzidos desde o lançamento do primeiro inoculante comercial à base de *A. brasilense* até o momento na cultura do milho verde no Brasil.

2. METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão que apresenta os aspectos gerais da cultura do milho verde com enfoque na adubação nitrogenada e na FBN, demonstrando por meio de resultados publicados em periódicos nacionais e internacionais a importância da aplicação da *A. brasilense* no milho verde no território brasileiro. Assim, selecionou-se artigos e publicações científicas de outras naturezas redigidas nas línguas inglesa e portuguesa.

A implementação deste estudo foi desenvolvida por meio de pesquisa bibliográfica, em que foram consultados artigos científicos disponíveis na base de dados do Google Acadêmico, bem como documentos técnicos de instituições de pesquisa, livros e capítulo de livros, adotando as seguintes termos: “adubação nitrogenada”, “*Azospirillum*”, “*Azospirillum brasilense*”, “corn”, “green corn”, “milho”, “milho doce”, “milho verde”, “sweet corn” e “*Zea mays*”.

A seleção dos trabalhos científicos para a elaboração da revisão bibliográfica foi realizada mediante a leitura dos títulos e resumos de cada estudo consultado, dando preferência as publicações mais recentes. Foram utilizados, após leitura e seleção, os mais relacionados ao tema do trabalho, sendo destacados em cada publicação consultada os aspectos de maior relevância sobre a adoção do *A. brasilense* na cultura do milho verde.

A revisão de literatura foi preparada com destaque para as temáticas a seguir: abordagens relacionadas à produção nacional e global de espigas verdes e de grãos de milho; noção geral sobre o N, o uso de N-fertilizante e a FBN; efeito da aplicação da *A. brasilense* no desempenho do milho para grãos e no milho verde; e as considerações finais.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Fornecer informações sobre a adoção da *A. brasilense* no desempenho do milho verde no Brasil, por meio de abordagens descritas nas principais literaturas científicas da atualidade.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Contribuir para a implementação do Programa Estadual de Bioinsumos (Lei nº 21.005, de 14 de maio de 2021) e do Marco Regulatório para Bioinsumos no Brasil (Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024);
- Auxiliar na diminuição da dependência da cultura do milho aos fertilizantes sintéticos nitrogenados, vislumbrando incremento na produtividade espigas verdes por meio da aplicação de *A. brasilense*;
- Direcionar esforços para a educação sobre FBN e *A. brasilense* à comunidade acadêmica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano).

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 PRODUÇÃO DE ESPIGAS VERDES E GRÃOS DE MILHO NO BRASIL E NO MUNDO

De acordo com a teoria mais aceita, o milho teve origem na Mesoamérica, provavelmente na região onde se situam as denominadas “Terras Altas do México”, a partir do teosinto no período compreendido entre 7.000 e 10.000 anos atrás (DOEBLEY, 2004). Daí em diante, o seu cultivo se expandiu pelo mundo, alcançando o posto de cereal mais produzido para dieta humana e consumo pelos animais e, mais recentemente, para a produção de energia renovável na forma de biocombustível (RANUM; PEÑA-ROSAS; GARCIA-CASAL, 2014).

Um grande enigma são as grandes diferenças genéticas entre o teosinto e o milho, indicando como mutações-chave e a seleção artificial contribuíram para a evolução genética da espécie cultivada (HUFFORD et al., 2013). Por ser uma planta com metabolismo fotossintético do tipo C4, o milho apresenta maior eficiência na captura de energia solar em ambientes quentes, superando culturas C3 como arroz, soja e trigo. Essa vantagem fisiológica, aliada à sua adaptabilidade a diferentes condições climáticas, torna o milho o principal cereal em escala global (CHAVAS; MITCHELL, 2018).

Trata-se de uma espécie monoica, com ciclo anual, apresenta sistema radicular fasciculado e caule ereto, podendo atingir até 3 metros de altura, o número de folhas varia entre 12 e 20, dependendo da disponibilidade hídrica, das cultivares e das condições edafoclimáticas (RIBEIRO et al., 2020). Sob condições adequadas, as sementes iniciam a absorção de água e a emergência (VE) (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993) ocorre entre 4 e 7 dias após a semeadura. O desenvolvimento segue pelos estádios vegetativos, culminando no pendoamento (VT), seguido pelos estádios reprodutivos, que vai desde o florescimento/“embonecamento” (R1) até maturidade fisiológica (R6) (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993).

O milho é um importante alimento básico para a população pobres em várias nações e também é amplamente utilizado em inúmeros gêneros alimentícios processados, incluindo amido, bebidas e óleo. O consumo humano indireto é proveniente de carne e produtos lácteos, uma vez que o cereal é a principal fonte energética dos alimentos dos rebanhos (RANUM; PEÑA-ROSAS; GARCIA-CASAL, 2014; FAO, 2020).

As condições agroclimáticas favoráveis no *Corn Belt* tornaram os Estados Unidos (EUA) o maior produtor de grãos de milho. Em 2024, a produção nos EUA representou mais de 30% da produção mundial de milho desta espécie (377,63 milhões de Mg) (FAO, 2026). A China (294,92 milhões de Mg) e o Brasil (114,95 milhões de Mg) são o segundo e o terceiro maiores produtores mundiais, respectivamente (FAO, 2026).

No Brasil, o milho é tradicionalmente cultivado em duas safras: setembro-abril (Safrade Verão ou 1ª Safrade) e fevereiro-setembro (Safrade Outono-Inverno ou 2ª Safrade). A Safrade Verão tem pouca representatividade no fornecimento total brasileiro, uma vez que neste período a gramínea tem a difícil tarefa de competir com a soja, a qual tem, pelo menos até o momento, a preferência dos produtores brasileiros (Conab, 2025). Entretanto, desde 2019, uma nova safra de milho vem crescendo rapidamente (3ª Safrade). Esta ocorre principalmente na região denominada “Sealba” (Sergipe, Alagoas e nordeste da Bahia), Roraima, Pernambuco e Amapá. A área média cultivada de milho e a produtividade de grãos no Brasil, considerando as três safras, é de 21.857,5 mil ha e 6,39 Mg ha⁻¹, respectivamente (Conab, 2025). No entanto, a produtividade média brasileira ainda é baixa quando comparada às áreas de alta produtividade dos EUA (média de 11,13 Mg ha⁻¹) e da Europa (média de 7,23 Mg ha⁻¹) (FAO, 2025).

Entre os diversos usos do milho, destaca-se a produção de espigas verdes para consumo humano *in natura*, enlatado ou em conserva, enquanto o restante da planta é aproveitado como silagem na alimentação animal (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2006). Isso significa que, além da produção de grãos secos e silagem, o milho também é comercializado no estágio de grãos leitosos (R3) (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993), sendo consumido fresco como espigas, grãos em conserva e seus derivados como pamonha, canjica, bolos e sorvetes, por exemplo (RODRIGUES et al., 2009). Nos Estados Unidos e no Canadá, o milho para consumo *in natura* é uma das oleráceas mais populares, valorizado por seu sabor marcante e longa vida útil após a colheita (DODSON-SWENSON; TRACY, 2015). A mesma coisa se observa no Sul da China, onde a cultura é amplamente cultivada e consumida em grande escala (LIU et al., 2016).

Segundo a FAO (2026), a área global colhida com milho verde foi de aproximadamente 1,07 milhões de hectares, resultando em uma produção de cerca de 9,46 milhões de Mg de espigas. Os principais produtores são Estados Unidos (2,39 milhões de Mg), México (1,07 milhões de Mg) e Croácia (0,90 milhões de Mg). No Brasil, há escassez de dados estatísticos institucionais sobre a produção e comercialização de espigas verdes.

No Brasil, o milho verde colhido no estágio R3 (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993) sempre foi valorizado, e atualmente sua comercialização, tanto das espigas quanto de seus derivados, ocorre durante todo o ano nos principais centros consumidores (SANTOS et al., 2015). Devido à sua boa aceitação no mercado e alto valor agregado, o milho verde costuma atingir preços superiores aos do milho em grão. Na maioria dos casos, o seu cultivo é realizado em consórcio com culturas de subsistência, como mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), feijão-comum e feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) (GALVÃO et al., 2014; CARVALHO et al., 2016).

Mesmo com menor escala de produção, o milho verde representa uma alternativa viável para pequenos e médios agricultores, oferecendo maior retorno econômico por área, aproveitamento das plantas inteiras e das espigas não comercializáveis na dieta animal, além de permitir a liberação antecipada da área para cultivos subsequentes (GALVÃO, 2014; SANTOS et al., 2015).

A colheita do milho verde deve ser realizada quando os grãos atingem entre 70% e 80% de umidade, preferencialmente no início da manhã, quando o ar está mais úmido e a temperatura é menor (PEREIRA FILHO, 2003). Quando destinadas à industrialização, espigas com mais de 8% dos grãos no estágio “cristal” ou “bolha d’água” (R2) (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993), com alto teor de umidade, reduzem o rendimento na produção de milho enlatado (KWIATKOWSKI; CLEMENTE, 2007).

Para ser classificada como milho verde, destinado à indústria alimentícia ou ao consumo fresco, a cultivar deve apresentar ciclo biológico entre 90 e 110 dias, espigas comerciais com mais de 15 cm de comprimento e diâmetro superior a 3 cm (PEREIRA FILHO, 2003; ALBUQUERQUE et al., 2008). Assim, são preferidos genótipos de milho que apresentem lento endurecimento dos grãos, espigas de grande porte e bem empalhadas, sabugo de coloração branca, grãos amarelados do tipo dentado com alinhamento retilíneo, e ausência de danos causados por pragas (CANCELLIER et al., 2011; KUKI et al., 2017). Além disso, a maior durabilidade pós-colheita é um fator relevante que deve ser considerado por produtores e pesquisadores, visando maior conservação e qualidade do produto (MORAES et al., 2010).

Frequentemente, produtores utilizam tecnologias voltadas à cultura do milho grão na produção de milho verde, o que pode resultar em espigas de baixa qualidade, inadequadas às exigências mínimas do mercado consumidor (RODRIGUES et al., 2018). Essa prática está

parcialmente relacionada à escassez de informações técnicas específicas disponíveis na literatura sobre o milho verde. A produção de milho para grão é conduzida por grandes, tais quais lançam mão de tecnologias modernas, médios e pequenos produtores, com foco em mercados local, regional, nacional e internacional (BAMPI; PAULA; ZILLI, 2016).

Em contraste, o cultivo de milho verde comum é predominantemente realizado por pequenos agricultores, geralmente com baixo nível de investimento (FRANCISCHINI; SILVA; TESSMANN, 2018), sendo as espigas destinadas ao consumo local. A comercialização em longas distâncias é limitada pela rápida perda de doçura dos grãos, causada pela conversão de sacarose em amido pela enzima sacarose-glucosil-transferase, o que compromete sua aceitação para consumo humano (SCHULTZ; JUVIK, 2004), além dos altos custos logísticos. Por suas características específicas, o milho verde permite agregação de valor na própria propriedade rural, promovendo geração de emprego e aumento da renda do produtor.

Projeções indicam que a produção agrícola global deverá aumentar em aproximadamente 70% até 2050 para atender ao crescimento populacional (HUNTER et al., 2017). As plantas de milho necessitam de alta quantidade de macro e micronutrientes essenciais (GONDIM et al., 2016). O crescimento da demanda por alimentos tem intensificado o uso de insumos agrícolas, especialmente o N, considerado um dos principais fatores limitantes para o alcance do rendimento máximo da cultura (LADHA et al., 2016; SPACKMAN et al., 2019).

A adoção de variedades de alto rendimento, obtidas por meio do fitomelhoramento, e adaptadas às condições locais, é fundamental para a intensificação sustentável da agricultura (STAHL et al., 2017). Contudo, a baixa produtividade de milho observada no Brasil está frequentemente associada à baixa fertilidade dos solos, que exigem altos aportes de fertilizantes para suprir a demanda da cultura (MARTINS et al., 2018). Por essa razão, boas práticas que otimizem o manejo de N também devem ser desenvolvidas e adotadas.

4.2 NITROGÊNIO E O USO DE N-FERTILIZANTE

A produtividade agrícola depende diretamente da disponibilidade de nutrientes no solo, sendo o N o principal fator limitante (MARTINS et al., 2018), por ser o macronutriente mais exigido pelas culturas de cereais (GUO et al., 2019; SPACKMAN et al., 2019).

Aproximadamente 98% do N presente no solo está na forma orgânica (SCHULTEN; SCHNITZER, 1998). Enquanto apenas 2% encontra-se nas formas mineralizadas, como

amônio (NH_4^+) e NO_3^- , prontamente disponíveis para as plantas, que resultam da mineralização promovida por microrganismos do solo ao longo dos anos, por meio de hidrólise enzimática (CAMARGO; GIANELLO; VIDOR, 1997), e/ou da adubação química nitrogenada.

Embora o N seja o elemento mais abundante na atmosfera, ele continua sendo o nutriente mais limitante para grande parte das culturas de interesse econômico (MAHMUD et al., 2020). Isso ocorre porque as plantas não conseguem absorver diretamente o dinitrogênio atmosférico (N_2), devido à sua estrutura molecular estável ($\text{N}\equiv\text{N}$), tornando sua abundância inutilizável para a nutrição vegetal (OMARA et al., 2019). Os mecanismos naturais que introduzem N_2 atmosférico ao solo incluem a FBN, tanto simbiótica quanto não simbiótica, além da contribuição de descargas elétricas (CONGREVES; VAN EERD, 2015). No entanto, esses processos não são suficientes para atender à demanda global por alimentos, especialmente diante do rápido crescimento populacional (CREWS; PEOPLES, 2004). Por isso, o uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos torna-se essencial para garantir a produção de alimentos em larga escala, atendendo à crescente demanda gerada pelo aumento da população mundial (OMARA et al., 2019).

Atualmente, sabe-se que a produção e o uso de fertilizantes nitrogenados contribuem significativamente para a emissão de gases de efeito estufa (GEE) e para a poluição de corpos hídricos (XU; FAN; MILLER, 2012; ZHAO et al., 2012). Além disso, sua obtenção demanda elevado consumo de energia, o que intensifica os impactos ambientais associados (LEITE et al., 2019).

Em média, geralmente, são aplicados cerca de 80 kg N ha^{-1} por ano nas lavouras de milho, e estima-se que os cereais — especialmente milho, trigo e arroz — consumam aproximadamente 50% de todo o fertilizante nitrogenado produzido mundialmente (LADHA et al., 2016). No entanto, apenas 30 a 50% dos fertilizantes nitrogenados são efetivamente absorvidos pelas plantas graníferas em condições de campo (PRASAD; HOCHMUTH, 2016; LOLLATO et al., 2019), devido as perdas causadas por erosão, volatilização, lixiviação, desnitrificação e imobilização. Esses processos reduzem a eficiência do uso do fertilizante e levam ao aumento das doses aplicadas (UZUN; ÖZAKTAN; UZUN, 2020). Diante da baixa eficiência de aproveitamento do N pelas culturas, tem-se incentivado o desenvolvimento de práticas de manejo que permitam definir a dose ideal e o momento mais adequado para sua aplicação, visando maximizar a produtividade do milho (OMARA et al., 2019).

O N pode entrar no solo por meio de diferentes vias, como a FBN (PANKIEVICZ et al., 2019), a deposição pelas águas da chuva e irrigação (TEI et al., 2020), a adubação orgânica

(TEMPESTA et al., 2019) e a aplicação de fertilizantes minerais (FERNANDEZ et al., 2020). Por outro lado, as perdas de N ocorrem através da absorção e exportação pelas culturas (PACKER; CRAMER, 2018), lixiviação de NO_3^- (ROSOLEM et al., 2017), volatilização de NH_3 (MIRA et al., 2017), processos de desnitrificação e emissão de N_2O (HOULTON; SIGMAN; HEDIN, 2006), todos os quais afetam a eficiência do uso do nutriente.

O N é essencial para a nutrição e o desenvolvimento das plantas, atuando na síntese da clorofila, proteínas, hormônios vegetais, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos (DNA e RNA), bases nitrogenadas (purinas e pirimidinas) e metabólitos secundários (MAATHUIS, 2009). As diferentes formas do nutriente influenciam diversos processos biológicos nas plantas, como a absorção de íons, atividade enzimática, fotossíntese, respiração, equilíbrio hídrico e sinalização celular, impactando diretamente o desenvolvimento vegetal e a produtividade das culturas (SZCZERBA et al., 2008; YANG et al., 2012; DING et al., 2015). Além disso, durante o estabelecimento e enchimento dos grãos, o N é essencial para manter o metabolismo dos carboidratos (MARSCHNER, 2012).

A absorção de N pelas raízes das plantas ocorre por meio de proteínas transportadoras específicas que permitem a entrada de NO_3^- e NH_4^+ pelas células da epiderme e do córtex radicular (LARSSON; INGEMARSSON, 1989). Após sua entrada na célula, o NO_3^- é reduzido a nitrito (NO_2^-) no citoplasma (citosol) pela nitrato redutase, e em seguida o nitrito é convertido em NH_3 nos plastídios pela nitrito redutase.

Após ser reduzida no plastídio, a NH_3 é incorporada em aminoácidos por meio da ação sequencial das enzimas glutamina sintetase (GS) e glutamato sintase (GOGAT), originando glutamina e glutamato, que servem de base para a síntese de outros aminoácidos e metabólitos (CRAWFORD, 1995). Alternativamente, o NO_3^- e NH_4^+ podem ser transportados por proteínas específicas através da membrana vacuolar (tonoplasto) e armazenados no vacúolo (TAIZ et al., 2017).

A assimilação de N em plantas superiores ocorre tanto nas raízes quanto nas folhas (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000). Quando esse processo se dá no sistema radicular, a energia necessária é fornecida pelo citoplasma - via ciclo das pentoses e glicólise - e pelas mitocôndrias, por meio do ciclo de Krebs (OAKS; HIREL, 1985). A ferredoxina envolvida nas reações catalisadas pela nitrito redutase e pela GOGAT é reduzida no citoplasma pelo NADPH, proveniente do ciclo das pentoses (CRAWFORD, 1995).

Nas folhas, a energia para as reações de assimilação do N é fornecida pelos cloroplastos, via fotossíntese; pelo citoplasma, através da glicólise; e pelas mitocôndrias, por meio do ciclo

do ácido tricarboxílico durante a respiração (OAKS; HIREL, 1985). No interior dos cloroplastos, as reações catalisadas pela nitrito redutase e pela GOGAT requerem a redução da ferredoxina, realizada pelo fluxo acíclico de elétrons (CRAWFORD, 1995).

A adubação nitrogenada tem sido amplamente documentada por favorecer o crescimento e o desenvolvimento do milho (SPACKMAN et al., 2019; FERNANDEZ et al., 2020) e a produtividade de espigas sob diferentes condições edafoclimáticas e sistemas de produção (ETEMADI et al., 2018; NUMOTO et al., 2019; GAO et al., 2020). Segundo Fancelli (2010), entre os estádios V4 e V12 representam as fases mais críticas do desenvolvimento. Assim, para alcançar altos rendimentos, é essencial evitar estresses, sobretudo nutricionais, durante esses estádios.

Em solos brasileiros, recomenda-se que o fornecimento de N seja feito em pelo menos duas aplicações parceladas. A primeira, realizada na semeadura, utiliza entre 20 a 30 kg N ha⁻¹. A segunda é indicada nos estádios V4 a V8 (FANCELLI, 2010), em cobertura, podendo ser dividida em dois a três parcelamentos.

Segundo Queiroz et al. (2011), quando a aplicação de N excede a demanda das plantas de milho nos estágios iniciais, há aumento nas perdas de NH₃ por volatilização e na imobilização de N inorgânico, comprometendo significativamente a eficiência de uso do nutriente.

Soratto et al. (2011) observaram que o fornecimento inadequado de N entre os estádios V4 e V6 pode limitar o desenvolvimento das espigas, prejudicando a formação e o rendimento de grãos. Além disso, é entre os estádios V4 e V12 que se definem componentes essenciais da produtividade da cultura (VITTI; BARROS JÚNIOR, 2001). Por isso, o parcelamento da adubação nitrogenada nesse intervalo é crucial, já que entre 40 e 60 dias após a emergência ocorre a maior exigência nutricional pelos órgãos da planta (ANDREWS et al., 2018), representando mais de 50% do total de N demandado ao longo do ciclo da cultura (MENESES et al., 2018).

Nas condições brasileiras, têm sido observadas diferentes respostas à aplicação de N em milho colhido no estágio imaturo (R3) (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993). Em Mossoró-RN, Silva et al. (2000) relataram aumento na massa de espigas comerciais quando adubaram com 151 kg N ha⁻¹. Já Freire et al. (2010) constataram máximas produtividades com 157 kg N ha⁻¹ no primeiro ano e com 177 kg N ha⁻¹ no segundo. No Alto Sertão Sergipano, Souza et al. (2019) registraram os maiores valores de massa de espigas classificadas como sendo de padrão comercial com 134,95 kg N ha⁻¹ na Safra de Verão e 171 kg N ha⁻¹ na Safra de Inverno.

Carmo et al. (2012), em estudo conduzido em Goiás, avaliaram quatro níveis de adubação nitrogenada (0,0; 50; 100; e 150 kg N ha⁻¹) e observaram resposta linear do milho doce ao aumento de N, com efeitos positivos sobre características produtivas da espiga, incluindo produtividade com palha. No Estado de São Paulo, Cruz et al. (2015) registraram maiores produtividades total e comercial de espigas verdes com doses de até 300 kg N ha⁻¹. Souza et al. (2015) verificaram aumento no rendimento de espigas com aplicação fracionada de 300 kg N ha⁻¹, distribuídos nas fenofases V3 (150 kg N ha⁻¹) e V8 (150 kg N ha⁻¹), durante o período Verão-Outono.

Avaliando níveis de N entre 0,0 e 120 kg N ha⁻¹, Oliveira et al. (2025) verificaram aumentos nos componentes da parte aérea e no desempenho produtivo do híbrido de milho verde AG 1051, em três anos agrícolas, no Noroeste do Paraná. Segundo estes autores, as doses de N-ureia proporcionaram um efeito linear positivo tanto na produtividade de espigas despalhadas quanto na produtividade de espigas comerciais.

Portanto, a aplicação de fertilizantes químicos deve ser realizada com cautela e de forma otimizada, uma vez que, a aplicação desregrada de N-sintético pode gerar perdas significativas para o ecossistema (MARTÍNEZ-DALMAU; BERBEL; ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ, 2021) e resulta em baixa absorção pela cultura do milho, devido à limitada exigência nutricional das plantas (GALINDO et al., 2016).

4.3 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO N₂ ATMOSFÉRICO

A FBN é um processo natural realizado por procariotos capazes de transformar o N₂ elementar em NH₃, forma assimilável pelas plantas. Considerada o segundo processo mais relevante na natureza, perde apenas para a fotossíntese, sendo essencial para manutenção da vida na Terra (FREITAS; FERNANDES-JÚNIOR, 2021). Os microrganismos fixadores de N₂, também denominados diazotróficos, pertencem a diversos grupos filogenéticos de Bactérias e Arqueas, cuja ampla diversidade garante sua ocorrência em variados habitats (MERLOTI et al., 2019).

A associação eficiente entre microrganismos diazotróficos e plantas permite suprir quase todas as demandas de N de diversas espécies com relevância agrícola e florestal, dispensando a aplicação de fertilizantes nitrogenados minerais e promovendo benefícios econômicos e ambientais (REIS JUNIOR et al., 2011). No caso da simbiose de bactérias da ordem Rhizobiales com leguminosas, são relatados aportes de centenas de quilogramas de N por hectare a cada ciclo (ORMEÑO-ORRILLO; HUNGRIA; MARTINEZ-ROMERO, 2013). Contudo, a

inoculação de *A. brasilense* no milho não é capaz de suprir integralmente a demanda por N, promovendo apenas uma substituição parcial. Isso se deve ao tipo de interação estabelecida entre planta e microrganismo, que difere substancialmente da simbiose entre *Bradyrhizobium* spp. e soja.

De modo geral, a FBN é viabilizada pelo complexo de enzima nitrogenase presente nos diazotróficos. Esse complexo enzimático é responsável por romper a ligação tripla da molécula de N₂ (N≡N), utilizando energia celular na forma de adenosina trifosfato (ATP) (TAIZ et al., 2017). Como resultado, o N₂ é reduzido a NH₃, que pode ser assimilada pelo vegetal (MEYER et al., 2022).

Estudos têm sido realizados em gramíneas e outras espécies não leguminosas para avaliar os benefícios da inoculação com bactérias fixadoras de N. Diante disso, diversas espécies bacterianas associadas a plantas não leguminosas são conhecidas, destacando-se os gêneros *Azospirillum*, *Herbaspirillum*, *Burkholderia*, *Pseudomonas*, e *Gluconacetobacter*, para citar alguns exemplos. Além de fixarem N biologicamente, essas bactérias atuam como promotoras do crescimento vegetal por meio da produção de fito-hormônios que estimulam o desenvolvimento das plantas (LUCANGELI; BOTTINI, 1997). No entanto, são necessárias investigações adicionais para elucidar o modo como esses microrganismos atuam nestes grupos específicos de espécies vegetais.

A FBN é executada por bactérias naturalmente presentes em diversos ambientes, como o solo. As bactérias fixadoras de N relacionadas às gramíneas e outras não leguminosas são classificadas como associativas, colonizando preferencialmente a região rizosférica, a superfície das raízes e, em alguns casos, os tecidos internos de raízes, colmos e folhas (bactérias endofíticas), onde realizada a FBN, e ao contrário das bactérias simbióticas, as associativas não formam nódulos (REIS JUNIOR et al., 2011).

Embora o fornecimento direto de N pelas bactérias associativas não seja tão significativo quanto no sistema simbiótico, diversos estudos indicam que essas bactérias, naturalmente presentes no solo, podem suprir uma parcela considerável do N necessário à nutrição vegetal (BODDEY; DÖBEREINER, 1995). Por sua vez, no sistema simbiótico, as bactérias localizam-se dentro dos nódulos, estabelecendo uma relação íntima com a planta hospedeira, o que reduz perdas causadas por fatores químicos, físicos e biológicos (MOREIRA et al., 2013).

4.4 INOCULAÇÃO COM *AZOSPIRILLUM BRASILENSE* NO MILHO GRÃO E NO MILHO VERDE

O uso de bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP's) como agentes microbiológicos tem se intensificado nos últimos anos em diversas culturas agrícolas, especialmente na América Latina (PANKIEVICZ et al., 2019), com destaque para os cultivos de milho e trigo (HUNGRIA et al., 2022; LUDWIG et al., 2022; PELLOSO et al., 2023). Essas bactérias estabelecem associação com as raízes de forma endofítica ou epifítica, sem provocar doenças, atuando diretamente na promoção do crescimento vegetal na rizosfera e nos tecidos internos da planta, ou indiretamente como agentes de controle biológico contra fitopatógenos (MARIANO et al., 2004).

As BPCP's interagem com vegetais por meio de dois tipos principais de associação: (1) com organismos assimbióticos ou de vida livre, pertencentes aos gêneros *Azoarcus*, *Azospirillum*, *Burkholderia*, *Gluconacetobacter*, *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Arthrobacter*, *Acinetobacter*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Klebsiella* e *Acetobacter*; e (2) com microrganismos procariontes simbióticos, como os dos gêneros *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Mesorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azorhizobium*, *Allorhizobium* e *Sinorhizobium* (RAI; NABTI, 2017).

Entre os gêneros bacterianos com reconhecida capacidade de promover o crescimento vegetal, *Azospirillum* é o mais amplamente pesquisado (FUKAMI; CEREZINI; HUNGRIA, 2018). Sua principal característica está relacionada à habilidade de colonizar espécies vegetais em uma ampla variedade de ecossistemas, abrangendo desde regiões tropicais até áreas de altas latitudes com temperaturas abaixo de 0 °C, tal qual o Ártico (REED et al., 2011). Também, *Azospirillum* atua como promotor de crescimento não específico, o que tem impulsionado o interesse científico em sua aplicação em muitas culturas de interesse econômico (BASHAN; HOLGUIN; DE-BASHAN, 2004).

O gênero *Spirillum* foi originalmente descrito por Beijerinck (1925) e, décadas depois, recategorizado como *Azospirillum*, sendo o prefixo "azo" uma referência ao termo "azoto", utilizado por Lavoisier para designar o elemento N (SANTOS; NOGUEIRA; HUNGRIA, 2021). Devido à sua capacidade de fixar N₂, *Azospirillum* foi caracterizado e isolado na década de 1970 pelo grupo liderado pela cientista brasileira Dra. Johanna Döbereiner (FUKAMI; CEREZINI; HUNGRIA, 2018). Essas bactérias são majoritariamente de vida livre, gram-negativas, uniflageladas, com morfologia de bastonete, aeróbicas, colonizadoras de raízes de

ampla gama de hospedeiros, apresentando movimento vibratório típico e padrão flagelar misto (HALL; KRIEG, 1984; BASHAN; HOLGUIN; DE-BASHAN, 2004).

Após a identificação da capacidade diazotrófica do *Azospirillum*, diversos trabalhos passaram a investigar seu potencial na FBN, visando à substituição de fertilizantes nitrogenados em gramíneas. Até o momento, 22 espécies de *Azospirillum* foram descritas (PEDRAZA et al., 2020), sendo *A. brasilense* e *A. lipoferum* as mais frequentemente abordadas na literatura científica (FUKAMI; CEREZINI; HUNGRIA, 2018).

Entretanto, desde 2009 as primeiras cepas comerciais de *A. brasilense*, Ab-V5 e Ab-V6, passaram a ser disponibilizadas no mercado brasileiro (HUNGRIA et al., 2010). Desde então, mais de 10,5 milhões de doses desses inoculantes são aplicadas anualmente pelos produtores, tanto na co-inoculação com bactérias nodulíferas em soja e feijão-comum quanto na inoculação em culturas não leguminosas (SANTOS; NOGUEIRA; HUNGRIA, 2021).

Embora a FBN seja o benefício mais reconhecido da *A. brasilense*, diversas pesquisas demonstram que essa bactéria possui outras propriedades que promovem o crescimento vegetal (CASSÁN et al., 2020). Esses microrganismos atuam por múltiplos mecanismos, incluindo a síntese de fitormônios, tais quais auxinas (FUKAMI et al., 2017), giberelinas (COHEN et al., 2009), citocininas (ABBASI; MIR-MAHMOODI; JALILNEZHAD, 2015), ácido salicílico (COHEN et al., 2009; FUKAMI et al., 2017) e etileno (PERRIG et al., 2007). Além do mais, o *Azospirillum* está associado ao aumento da absorção de nutrientes (ARDAKANI; MAFAKHERI, 2011), à solubilização de fosfato (TURAN et al., 2012), à produção de óxido nítrico (NO) (FIBACH-PALDI; BURDMAN; OKON, 2012) e ao funcionamento da enzima nitrato redutase (HUNGRIA et al., 2010).

Além de sua atuação na promoção do crescimento vegetal, *A. brasilense* tem sido associado à mitigação de estresses abióticos, como salinidade, déficit hídrico e presença de compostos tóxicos no solo, além de reduzir as deteriorações causadas por espécies reativas de oxigênio (estresse oxidativo) (CASSÁN; DIAZ-ZORITA, 2016; FUKAMI; CEREZINI; HUNGRIA, 2018). Também contribui para a redução de estresses bióticos, aumentando a resistência das plantas contra os ataques de microrganismos fitopatogênicos (TORTORA; DÍAZ-RICCI; PEDRAZA, 2011). Ademais, o gênero *Azospirillum* tem sido associado a múltiplas adaptações fisiológicas que favorecem a tolerância à seca, como o aumento dos níveis de prolina em raízes e brotações, a melhoria do potencial hídrico, o incremento das rotas apoplásticas para transporte de água, a maior elasticidade da parede celular, o aumento de pigmentos fotossintéticos e

fotoprotetores, bem como a redução da condutância estomática (menor abertura estomática) e da taxa de transpiração (BASHAN; DE-BASHAN, 2010; COHEN et al., 2015).

Os efeitos positivos da inoculação têm sido explicados pela teoria dos múltiplos mecanismos, tal qual depende da interação entre bioinoculante, planta e ambiente (BASHAN; DE-BASHAN, 2010; BASHAN et al., 2014). Assim, a combinação entre estirpe bacteriana x genótipo vegetal x condições ambientais é determinante para o desempenho das BPCP's, que atuam por meio de diversos mecanismos simultâneos para favorecer o desenvolvimento das plantas (BASHAN et al., 2014). Entre esses mecanismos, destaca-se o estímulo ao crescimento radicular, que promove maior absorção de água e nutrientes, contribuindo para a mitigação de estresses bióticos e abióticos e, conseqüentemente, para o aumento do desenvolvimento e da produtividade das culturas (DI SALVO et al., 2018).

Embora o uso de *A. brasilense* em culturas de cereais ofereça benefícios agrônômicos, a bactéria não supre integralmente a demanda de N, exigindo aplicações complementares do nutriente (SANTOS; NOGUEIRA; HUNGRIA, 2019). Ainda assim, é possível reduzir entre 15% e 50% a dose de N mineral sem comprometer altos níveis de produtividade (HUNGRIA et al., 2010; ARAÚJO et al., 2014; FUKAMI et al., 2016; GALINDO et al., 2022; HUNGRIA et al., 2022).

Com base em uma análise de diversos ensaios de campo realizados ao longo de mais de duas décadas em diferentes regiões do mundo, envolvendo a inoculação de plantas não leguminosas com *Azospirillum* sob variadas condições edafoclimáticas, Okon e Labandera-Gonzalez (1994) concluíram que o uso dessa tecnologia pode elevar o rendimento das culturas em até 30%. Zeffa et al. (2018) conduziram uma meta-análise sobre o efeito da aplicação em cobertura de fertilizantes nitrogenados combinada à inoculação com *Azospirillum* spp. em milho, observando que a inoculação com este gênero bacteriano mostrou um incremento médio de 651,58 kg ha⁻¹ na produtividade de grãos, considerando todos os experimentos, tendendo a reduzir a produtividade em 4,36 kg ha⁻¹ em resposta à adição de 1 kg N ha⁻¹ em cobertura.

Noutra meta-análise, em 60 estudos com as estirpes Ab-V5 e Ab-V6 de *A. brasilense*, abrangendo 103 ensaios de campo realizados em 54 localidades brasileiras, confirmou os benefícios da inoculação em milho, com aumento médio estatisticamente significativo de 5,4% na produtividade de grãos, de 4,3% no teor de N foliar, de 3,6% no teor de N nos grãos, e de 12,1% na massa radicular (BARBOSA et al., 2022).

É oportuno destacar em Barbosa et al. (2022) que, além dos efeitos quantitativos, a inoculação também promoveu ganhos qualitativos, elevando o valor nutricional do milho para

consumo humano e animal, pois a concentração de nutrientes nos grãos de milho é um atributo essencial para a qualidade nutricional para humanos e animais, ao passo que o aumento da concentração de N nas folhas também traz benefícios à nutrição animal, considerando o uso de toda a parte aérea das plantas na produção de silagem.

Longhini et al. (2016), ao avaliarem a adoção de cinco doses de adubação nitrogenada (0,0; 30; 60; 90; e 120 kg N ha⁻¹) associadas ao uso de *A. brasilense* em milho, observaram incremento na altura das plantas e na produtividade de grãos, independentemente da dose de N adotada. De forma semelhante, Skonieski et al. (2019), ao estudarem a inoculação com a mesma bactéria promotora do crescimento combinada com níveis de N (0,0; 60; 120; 240; e 480 kg N ha⁻¹), constataram aumentos de aproximadamente 11,0% tanto na eficiência de uso do N quanto na produtividade de grãos, também sem influência do efeito dos níveis de N-sintético utilizados.

Em estudo conduzido por Alves, Sobral e Reis et al. (2020), o milho foi submetido a doses crescentes de N-ureia, entre 0,0 e 300 kg ha⁻¹, e à inoculação com produto à base de *A. brasilense*, cepa BR11005. Os autores observaram que a inoculação combinada com a aplicação de 100 kg N ha⁻¹ resultou em um acréscimo de 614 kg ha⁻¹ na produtividade de grãos, representando um aumento de cerca de 20% em relação ao tratamento sem inoculação.

Galindo et al. (2022), ao conduzirem ensaios de campo por duas safras envolvendo quatro níveis de aplicação de N (controle, baixo, médio e alto, ou seja, 0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹, respectivamente, aplicados em cobertura) com ou sem a inoculação de sementes com *A. brasilense*, observaram que a aplicação do inoculante melhorou a eficiência agrônômica, a absorção de N pelas plantas de milho com aumento do acúmulo de N na parte aérea, raiz e grãos, aumentando a produtividade de grãos em 7,3% (9.862 kg ha⁻¹ nas parcelas inoculadas e 9.188 kg ha⁻¹ em parcelas não inoculadas). Os resultados desta pesquisa mostraram que é possível reduzir em 50% o nível de adubação nitrogenada e aumentar em 11% o lucro operacional com a inoculação de *A. brasilense*. Além disso, quando a inoculação foi realizada na presença de alto nível de N, o lucro operacional foi 11% maior do que para o mesmo nível de N na ausência de inoculação.

Na década seguinte ao lançamento das estirpes Ab-V5 e Ab-V6 de *Azospirillum* para o milho, umas das dúvidas mais recorrentes era quanto à viabilidade de redução da aplicação de N em cobertura, o que traria impacto econômico significativo para o produtor (HUNGRIA; NOGUEIRA, 2022). Contudo, ainda faltava uma avaliação mais precisa, consistente e robusta sobre a possibilidade de substituir a adubação nitrogenada pela inoculação com *A. brasilense*.

Para responder algumas dessas perguntas, Hungria et al. (2022) estudaram os resultados de 30 experimentos de campo (26 no período de Safra de Verão) conduzidos durante dez anos em 13 locais nas principais regiões produtoras do Brasil (Centro-Oeste, Sul, Sudeste e Nordeste), utilizando 12 genótipos comerciais para investigar a viabilidade de substituir parcialmente o N-fertilizante recomendado para a cultura do milho. Neste sentido, por volta dos 35 dias após a emergência do milho, foram fornecidos 0%, 50%, 75% e 100% (90 kg N ha⁻¹) de N-ureia em cobertura aos tratamentos inoculados e não inoculados.

Segundo os autores, no geral, a inoculação aumentou significativamente o rendimento de grãos em 3,1%. Tais aumentos foram confirmados em todas as condições analisadas, de clima subtropical ou tropical, em ampla faixa de rendimento de grãos, em solos argilosos ou arenosos, com diferentes níveis de carbono orgânico. Destaque especial do estudo, porém, veio pela constatação de que não houve diferença estatística significativa na produtividade de grãos entre os tratamentos não inoculados que receberam 100% do N-fertilizante em cobertura e os tratamentos inoculados com 75% do N em cobertura. Esses resultados indicam que a inoculação com *A. brasilense* é eficaz nas mais diversas condições de cultivo de milho no país, além de proporcionar a redução parcial da adubação química nitrogenada em cobertura na cultura em 25%, resultando numa economia que ultrapassaria US\$ 15 ha⁻¹ (US\$ 1 = R\$ 5,8687) para o produtor e evitaria a emissão de 236 kg de dióxido de carbono equivalente ha⁻¹.

Deve-se destacar, ainda, que no estudo de Hungria et al. (2022) o maior incremento no rendimento de grãos pela aplicação da *A. brasilense* foi obtido somente com a adubação nitrogenada na semeadura (0% de N em cobertura), e numa faixa de produtividade <5,000 kg/ha, cujo efeito da inoculação em ambos os casos foi de 6,9%, sugerindo que a tecnologia pode ser uma ferramenta importante para sistemas de produção com baixo nível tecnológico, como ocorre habitualmente no cultivo de milho verde comum. Corroborando esse achado, a meta-análise de Barbosa et al. (2022) mostrou que os benefícios da aplicação de *Azospirillum* foram mais expressivos em áreas com faixa de produtividade ≤3.000 kg/ha (+21%) do que naquelas entre 3.000 e 12.000 kg/ha (+1,5% a +6,2%).

Como mencionado anteriormente, diferentes respostas aos níveis de N-fertilizante aplicados em cobertura na produtividade de espigas do milho para consumo *in natura* ou processo industrial foram observados nos solos brasileiros. Todavia, o uso de bactérias diazotróficas em milho colhido no estágio imaturo (R3) (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993) não seguiu a mesma tendência de aumento observado no milho para produção de grãos secos e em outras culturas não leguminosas.

No caso de milho destinado à produção de espigas verdes, os estudos sobre o uso de *Azospirillum* e seu impacto na produtividade são escassos. As evidências disponíveis indicam que a contribuição desse gênero bacteriano para a produção de espigas apresenta resultados contrastantes. Oliveira et al. (2025), em três Safras de Verão, utilizaram dois bioinsumos – um inoculante à base de *A. brasilense* e um bioestimulante foliar contendo principalmente extratos algais –, e não detectaram efeito da inoculação microbiana sobre a performance produtiva do milho verde. Os mesmos constataram também que a aplicação do bioestimulante aumentou o peso das espigas em 5,08% em uma das safras.

Por outro lado, Araújo et al. (2014) avaliaram, ao longo de dois anos agrícolas, o efeito da inoculação com *A. brasilense* associada a diferentes níveis de N sobre o milho verde. Assim, pelos dados apresentados no estudo observa-se um aumento de 68,49% na massa das espigas comerciais com a inoculação em relação ao tratamento não inoculado, independentemente da adubação nitrogenada. Os autores, portanto, concluíram que a combinação entre *A. brasilense* e fertilizante nitrogenado eleva em mais de 30% a produtividade de espigas comerciais, bem como reduz em 15% a aplicação de N-fertilizante.

Numoto et al. (2019) detectaram resultados positivos na cultura do milho doce com o uso de *A. brasilense*, aplicando níveis de inoculante entre 0 e 200 mL ha⁻¹, associadas a dois níveis de N na semeadura (0,0 e 30 kg ha⁻¹) e dois em cobertura (0,0 e 110 kg ha⁻¹). Segundo estes pesquisadores, a inoculação promoveu aumentos na altura das plantas, índice de área foliar, rendimento de espigas comercializáveis, além de elevar os teores de açúcar e proteína nos grãos. O melhor desempenho agrônomo foi observado com a dose de 100 mL ha⁻¹ de inoculante combinada à aplicação de N-fertilizante tanto na semeadura quanto em cobertura.

Vale ressaltar que, além do N ser o nutriente mais exigido pelas plantas, o Brasil é fortemente dependente da importação de fertilizantes. Entretanto, a utilização da microbiota do solo, como *Azospirillum* sp., tende a reduzir esta dependência, contribuindo para a autonomia dos agricultores brasileiros e mitigando os impactos econômicos decorrentes da volatilidade dos preços internacionais, frequentemente agravada pelos conflitos geopolíticos.

Outra consideração importante na produção agrícola sustentável, é o impacto ambiental, cuja relevância tem crescido no mercado global. Ainda são necessárias pesquisas para uma melhor compreensão do papel dos microrganismos na mitigação de GEE. Por exemplo, em um estudo realizado com milho confirmou reduções nas emissões de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) por meio da inoculação com as estirpes Ab-V5 e Ab-V6 de *A. brasilense*

(YOSHIURA et al., 2021), reforçando a importância deste inoculante microbiano no meio ambiente.

Nas atividades agrícolas os fertilizantes nitrogenados são grandes responsáveis pela liberação de GEE para atmosfera (IPCC, 2006). Como a agropecuária é a maior fonte de emissora de GEE em muitos países produtores de alimentos, como o Brasil (SÁ et al., 2017), onde os adubos químicos representam cerca de 30% das emissões na agricultura (SOTTA; SAMPAIO; GALLARDO, 2020), a substituição de fontes sintéticas de nutrientes por ferramentas biotecnológicas parece ser uma abordagem estratégica para mitigar as emissões, ajudando tais países a cumprir seus compromissos internacionais de redução de emissões de gases que contribuem para o aquecimento da Terra.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tomando como base as informações mencionadas neste trabalho, conclui-se que:

Os inoculantes contendo *Azospirillum brasilense*, ganharam destaque, em um período muito curto, entre os produtores brasileiros de milho para grãos, trigo, arroz, pastagem, soja e feijão-comum desde o lançamento do primeiro inoculante comercial até o presente;

A grande versatilidade da *Azospirillum brasilense*, contribuindo para uma ampla gama de mecanismos biológicos, abre oportunidades para ampliar as avaliações para outras culturas de interesse agrônomo no país, tal qual milho verde, por exemplo, que os estudos ainda são incipientes;

Muitos agricultores brasileiros já estão familiarizados com o uso de inoculantes microbianos em suas lavouras. Uma vantagem do Brasil é que muitos grandes produtores das regiões Centro-Oeste, Sul, Sudeste e do Matopiba (região formada pelo Tocantins e partes do Maranhão, do Piauí e da Bahia) já estão familiarizados com o conceito de inoculantes bacterianos, de modo que o foco educacional sobre tais bioinsumos devem agora ser direcionados aos médios e pequenos agricultores com menor acesso ao conhecimento técnico-científico;

O sucesso alcançado nas principais regiões produtoras do Brasil durante a 1ª e 2ª Safra pode incentivar estudos e aplicações em outras regiões do país, em que o cultivo do milho tem se consolidado nos últimos anos na 3ª Safra, assim como em outros países, utilizando estirpes de *Azospirillum* mais adaptadas ao ambiente de produção agrícola; e

Enfim, diante dos benefícios econômicos e ambientais da inoculação com *Azospirillum brasilense*, sua ampla adoção é essencial para elevar a produtividade e a qualidade nutricional do milho verde.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASI, K.; MIR-MAHMOODI, T.; JALILNEZHAD, N. Effects of *Azospirillum* bacteria and cytokinin hormone on morphology, yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). **International Journal of Biosciences**, v. 6, p. 378-386, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.12692/ijb/6.3.378-386>

ALBUQUERQUE, C. J. B.; VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D.; SOUZA FILHO, A. X.; FIORINI, I. V. A. Desempenho de híbridos experimentais e comerciais de milho para produção de milho verde. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 768-775, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000300010>

ALVES, G. C.; SOBRAL, L. F.; REIS, V. M. Grain yield of maize inoculated with diazotrophic bacteria with the application of nitrogen fertilizer. **Revista Caatinga**, v. 33, p. 644-652, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252020v33n307rc>

ANDREWS, J. S.; SANDERS, Z. P.; CABRERA, M. L.; SAHA, U. K.; HILL, N. S. Nitrogen dynamics in living mulch and annual cover crop corn production systems. **Agronomy Journal**, v. 110, p. 1309-1317, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2017.10.0609>

ARAÚJO, R. M.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L.; FIGUEIREDO, M. V. B. Resposta do milho verde à inoculação com *Azospirillum brasilense* e níveis de nitrogênio. **Ciência Rural**, v. 44, p. 1556-1560, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20130355>

ARDAKANI, M. R.; MAFAKHERI, S. Designing a sustainable agroecosystem for wheat (*Triticum aestivum* L.) production. **Journal of Applied Environmental and Biological Sciences**, v. 1, p. 401-413, 2011.

ARDAKANI, M. R.; MAZAHARI, D.; MAFAKHERI, S.; MOGHADDAM, A. Absorption efficiency of N, P, K through triple inoculation of wheat (*Triticum aestivum* L.) by *Azospirillum brasilense*, *Streptomyces* sp., *Glomus intraradices* and manure application. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 17, p. 181-192, 2011. DOI: 10.1007/s12298-011-0065-7

BALDANI, V. L. D.; DÖBEREINER, J. Host-plant specificity in the infection of cereals with *Azospirillum* spp. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 12, p. 433-439, 1980. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(80\)90021-8](https://doi.org/10.1016/0038-0717(80)90021-8)

BAMPI, S. L.; PAULA, C. V.; ZILLI, J. B. A. Competitividade das exportações de milho do Brasil para a União Europeia no período de 2000 a 2014. **Tiempo y Economía**, v. 3, p. 115-136, 2016. DOI: 10.21789/24222704.1130

BARBOSA, J. Z.; ROBERTO, L. A.; HUNGRIA, M.; CORRÊA, R. S.; MAGRI, E.; CORREIA, T. D. Meta-analysis of maize responses to *Azospirillum brasilense* inoculation in Brazil: benefits and lessons to improve inoculation efficiency. **Applied Soil Ecology**, v. 170, p. 104276, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104276>

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. How the plant growth promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth – a critical assessment. **Advances in Agronomy**, v. 108, p. 77-136, 2010. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)08002-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)08002-8)

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E.; PRABHU, S. R.; HERNANDEZ, J. P. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998-2013). **Plant and Soil**, v. 378, p. 1-33, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1956-x>

BASHAN, Y.; HOLGUIN, G.; DE-BASHAN, L.E. *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural and environmental advances (1997-2003). **Canadian Journal of Microbiology**, v. 50, p. 521-577, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1139/w04-035>

BEIJERINCK, M. W. Über ein *Spirillum*, welches freien Stickstoff binden kann. **Zentralblatt für Bakteriologie, Parasitenkunde, Infektionskrankheiten und Hygiene, Abt. 2**, v. 63, p. 353-359, 1925.

BODDEY, R. M.; DÖBEREINER, J. Nitrogen fixation associated with grasses and cereals: recent progress and perspectives for the future. **Fertility Research**, v. 42, p. 241-250, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00750518>

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, v. 30, p. 365-372, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782000000200029>

BUZO, F. S.; GARÉ, L. M.; ARF, O.; PORTUGAL, J. R.; MEIRELLES, F. C.; GARCIA, N. F. S. Interaction between thidiazuron and *Azospirillum brasilense* on yield characteristics and productivity of rice. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, p. 244-249, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n4p244-249>

CAMARGO, F. A. O.; GIANELLO, C.; VIDOR, C. Comparative study of five hydrolytic methods in the determination of soil organic nitrogen compounds. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 28, p. 1303-1309, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103629709369875>

CANCELLIER, L. L.; AFFÉRI, F. S.; CRUZ, O. S.; PELUZIO, J. M.; MELO, A. Desempenho de populações de milho para produção de grãos e consumo *in natura* no Estado de Tocantins. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, p.542-553, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000200038>

CANTARELLA, H.; OTTO, R.; SOARES, J. R.; SILVA, A. G. B. Agronomic efficiency of NBPT as a urease inhibitor: A review. **Journal of Advanced Research**, v. 13, p. 19-27, 2018. DOI: [10.1016/j.jare.2018.05.008](https://doi.org/10.1016/j.jare.2018.05.008)

CARMO, M. S.; CRUZ, S. C. S.; SOUZA, E. J.; CAMPOS, L. F. C.; MACHADO, C. G. Doses e fontes de nitrogênio no desenvolvimento e produtividade da cultura de milho doce (*Zea mays* convar. *saccharata* var. *rugosa*). **Bioscience Journal**, v. 28, p. 223-231, 2012.

CARVALHO, I. D.; FERREIRA, P. V.; SILVA JÚNIOR, A. B.; TEIXEIRA, J. S.; OLIVEIRA, F. S.; CARVALHO, A. P.; SANTOS, P. R. Análise produtiva de genótipos de milho verde consorciados com feijão. **Horticultura Brasileira**, v. 34, p. 593-599, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-053620160422>

CASSÁN, F.; CONIGLIO, A.; LÓPEZ, G.; MOLINA, R.; NIEVAS, S.; CARLAN, C. N.; DONADIO, F.; TORRES, D.; ROSAS, S.; PEDROSA, F. O.; SOUZA, E.; ZORITA, M. D.; DE-BASHAN L.; MORA V. Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. **Biology and Fertility of Soils**, v. 56, p. 461-479, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y>

CASSÁN, F.; DIAZ-ZORITA, M. *Azospirillum* sp. in current agriculture: From the laboratory to the field. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 103, p. 117-130, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.08.020>

CHAVAS, J.P.; MITCHELL, P.D. Corn Productivity: The role of management and biotechnology. In: AMANULLAH (Ed.). **Corn - production and human health in changing climate**. Intechopen: London, 2018. p. 13-25.

COHEN, A. C.; BOTTINI, R.; PONTIN, M.; BERLI, F. J.; MORENO, D.; BOCCANLANDRO, H.; TRAVAGLIA C. N.; PICCOLI, P. N. *Azospirillum brasilense* ameliorates the response of *Arabidopsis thaliana* to drought mainly via enhancement of ABA levels. **Physiologia Plantarum**, v. 153, p. 79-90, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/ppl.12221>

COHEN, A. C.; TRAVAGLIA, C. N.; BOTTINI, R.; PICCOLI, P. N. Participation of abscisic acid and gibberellins produced by endophytic *Azospirillum* in the alleviation of drought effects in maize. **Botany**, v. 87, p. 455-462, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1139/B09-023>

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. 2025. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. 12º Levantamento - Safra 2024/25**. Disponível em: <<https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras>>. Acesso em 08 de novembro de 2025.

CONGREVES, K. A.; VAN EERD, L. L. Nitrogen cycling and management in intensive horticultural systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 102, p. 299-318, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10705-015-9704-7>

CRAWFORD, N. M. Nitrate: nutrient and signal for plant growth. **The Plant Cell**, v. 7, p. 859-868, 1995. DOI: 10.1105/tpc.7.7.859

CREWS, T. E.; PEOPLES, M. B. Legume versus fertilizer sources of nitrogen: Ecological tradeoffs and human needs. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 102, p. 279–297, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.018>

CRUZ, C. A.; CECÍLIO FILHO, A. B.; MENESES, N. B.; CUNHA, T. P. L.; NOWAKI, R. H. D.; BARBOSA, J. C. Influence of amount and parceling of nitrogen fertilizer on productivity and industrial revenue of sweet corn (*Zea mays* L.). **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, p. 895-900, 2015.

CURÁ, J. A.; FRANZ, D. R.; FILOSOFÍA, J. E.; BALESTRASSE, K. B.; BURGUEÑO, L. E. Inoculation with *Azospirillum* sp. and *Herbaspirillum* sp. bacteria increases the tolerance of maize to drought stress. **Microorganisms**, v. 5, p. 41, 2017. DOI: 10.3390/microorganisms5030041

DI SALVO, L. P.; FERRANDO, L.; FERNANDÉZ-SCAVINO, A.; SALAMONE, I. E. G. Microorganisms reveal what plants do not: wheat growth and rhizosphere microbial communities after *Azospirillum brasilense* inoculation and nitrogen fertilization under field conditions. **Plant and Soil**, v. 424, p. 405-417, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3548-7>

DING, L.; GAO, C.; LI, Y.; LI, Y.; ZHU, Y.; XU, G.; SHEN, Q.; KALDENHOFF, R.; KAI, L.; GUO, S. The enhanced drought tolerance of rice plants under ammonium is related to aquaporin (AQP). **Plant Science**, v. 234, p. 14-21, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2015.01.016>

DODSON-SWENSON, H. G.; TRACY, W. F. Endosperm carbohydrate composition and kernel characteristics of *shrunk2-intermediate* (*sh2-i/sh2-i Su1/Su1*) and *shrunk2-intermediate-sugary1-reference* (*sh2-i/sh2-i su1-r/su1-r*) in sweet corn. **Crop Science**, v. 55, p. 2647-2656, 2015. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.03.0188>

DOEBLEY, J. The genetics of maize evolution. **Annual Review of Genetics**, v. 38, p. 37-59, 2004. DOI: 10.1146/annurev.genet.38.072902.092425

ETEMADI, F.; HASHEMI, M.; ZANDVAKILI, O.; DOLATABADIAN, A.; SADEGHPOUR, A. Nitrogen contribution from winter-killed faba bean cover crop to spring-sown sweet corn in conventional and no-till systems. **Agronomy Journal**, v. 110, p. 455-462, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2017.08.0501>

FANCELLI, A. L. **Boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes na cultura do milho**. Piracicaba: IPNI - International Plant Nutrition Institute Brazil, 2010, 16p. (IPNI. Informações Agronômicas, 131).

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2020. **World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2020**.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2026. **Statistic Database – FAOSTAT**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>>. Acesso em: 09 de junho de 2026.

FERNANDEZ, J. A.; DE BRUIN, J.; MESSINA, C. D.; CIAMPITTI, I. A. Late-season nitrogen fertilization on maize yield: A meta-analysis. **Field Crops Research**, v. 247, p. 1-11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107586>

FIBACH-PALDI, S.; BURDMAN, S.; OKON, Y. Key physiological properties contributing to rhizosphere adaptation and plant growth promotion abilities of *Azospirillum brasilense*. **FEMS Microbiology Letters**, v. 326, p. 99-108, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2011.02407.x>

FRANCISCHINI, R.; SILVA, A. G.; TESSMANN, D. J. Eficiência de bioestimulantes e fungicida nos caracteres agronômicos e econômicos na cultura do milho verde. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, p. 274-286, 2018. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v17n2p274-286>

FREIRE, F. M.; VIANA, M. C. M.; MASCARENHAS, M. H. T.; PEDROSA, M. W.; COELHO, A. M.; ANDRADE, C. D. L. T. Produtividade econômica e componentes da produção de espigas verdes de milho em função da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 9, p. 213-222, 2010. DOI: 10.18512/1980-6477/rbms.v9n3p213-222

FREITAS, A. D. S.; FERNANDES-JÚNIOR, P. I. Fixação biológica de nitrogênio em agroecossistemas da região Semiárida do Nordeste. In: SOUZA, H. A.; LEITE, L. F. C.; MEDEIROS, J. C. (Ed.). **Solos sustentáveis para a agricultura no Nordeste**. Brasília: Embrapa, 2021. p. 375-408.

FUKAMI, J.; CERZINI, P.; HUNGRIA, M. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **AMB Express**, v. 8, p. 73, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0608-1>

FUKAMI, J.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Accessing inoculation methods of maize and wheat with *Azospirillum brasilense*. **AMB Express**, v. 6, p. 3, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13568-015-0171-y>

FUKAMI, J.; OLLERO, F. J.; MEGÍAS, M.; HUNGRIA, M. Phytohormones and induction of plant-stress tolerance and defense genes by seed and foliar inoculation with *Azospirillum brasilense* cells and metabolites promote maize growth. **AMB Express**, v. 7, p. 1-13, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13568-017-0453-7>

GALINDO F. S., PAGLIARI P. H., SILVA E. C., LIMA B. H., FERNANDES G. C., THIENGO C. C., BERNARDES J. V. S., JALAL A., OLIVEIRA C. E. S., VILELA L. S., FURLANI JUNIOR E., NOGUEIRA T. A. R., NASCIMENTO V., TEIXEIRA FILHO M. C. M., LAVRES J. Impact of nitrogen fertilizer sustainability on corn crop yield: the role of beneficial microbial inoculation interactions. **BMC Plant Biology**, v. 24, p. 268-287, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04971-3>

GALINDO, F. S.; RODRIGUES, W. L.; FERNANDES, G. C.; BOLETA, E. H. M.; JALAL, A.; ROSA, P. A. L.; BUZETTI, S.; LAVRES, J.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Enhancing agronomic efficiency and maize grain yield with *Azospirillum brasilense* inoculation under

Brazilian savannah conditions. **European Journal of Agronomy**, v. 134, p. 126471, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126471>

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; SANTINI, J. M. K.; ALVES, C. J.; NOGUEIRA, L. M.; LUDKIEWICZ, M. G. Z.; ANDREOTTI, M.; BELLOTE, J. L. M. Corn yield and foliar diagnosis affected by nitrogen fertilization and inoculation with *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.40, p.1-18, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20150364>

GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V.; TROGELLO, E.; FRITSCHÉ-NETO, R. Sete décadas de evolução do sistema produtivo da cultura do milho. **Revista Ceres**, v. 61, p. 819-828, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737x201461000007>

GAO, L.; LI, W.; ASHRAF, U.; LU, W.; LI, Y.; LI, C.; LI, G.; LI, G.; HU, J. Nitrogen fertilizer management and maize straw return modulate yield and nitrogen balance in sweet corn. **Agronomy**, v. 10, p. 362-372, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10030362>

GONDIM, A. R. O.; PRADO, R. M.; FONSECA, I. M.; ALVES, A. U. Crescimento inicial do milho cultivar BRS 1030 sob omissão de nutrientes em solução nutritiva. **Revista Ceres**, v. 63, p. 706-714, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201663050016>

GUO, J.; JIA, Y.; CHEN, H.; ZHANG, L.; YANG, J.; ZHANG, J.; HU, X.; YE, X.; LI, Y.; ZHOU, Y. Growth, photosynthesis, and nutrient uptake in wheat are affected by differences in nitrogen levels and forms and potassium supply. **Scientific Reports**, v. 9, p. 1-12, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37838-3>

HALL, P. G.; KRIEG N. R. Application of the indirect immunoperoxidase stain technique to the flagella of *Azospirillum brasilense*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 47, p. 433-435, 1984. DOI: 10.1128/aem.47.2.433-435.1984

HOULTON, B. Z.; SIGMAN, D. M.; HEDIN, L. O. Isotopic evidence for large gaseous nitrogen losses from tropical rainforests. **Proceeding of the National Academy of Sciences of**

the United States of America, v. 103, p. 8745-8750, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0510185103>

HUFFORD, M. B.; LUBINKSY, P.; PYHÄJÄRVI, T.; DEVENGENZO, M. T.; ELLSTRAND, N. C.; ROSS-IBARRA, J. The genomic signature of crop-wild introgression in maize. **PLOS GENETICS**, v. 9, p. e1003477, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1003477>

HUNGRIA, M.; BARBOSA, J. Z.; RONDINA, A. B. L.; NOGUEIRA, M. A. Improving maize sustainability with partial replacement of N fertilizers by inoculation with *Azospirillum brasilense*. **Agronomy Journal**, v. 114, p. 2969-2980, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/agj2.21150>

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

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. **Inoculação do milho com as estirpes Ab-V5 e Ab-V6 de *Azospirillum brasilense*: redução na adubação nitrogenada de cobertura e mitigação na emissão de gases de efeito estufa**. Londrina: Embrapa Soja, 2022 (Documentos, n. 450). 36p.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. **Biology and Fertility of Soils**, v. 49, p. 791-801, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0771-5>

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Inoculation of *Brachiaria* spp. with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: an environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 221, p. 125-131, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.024>

HUNGRIA, M.; RONDINA, A. B. L.; NUNES, A. L. P.; ARAUJO, R. S.; NOGUEIRA, M. A. Seed and leaf-spray inoculation of PGPR in brachiarias (*Urochloa* spp.) as an economic and

environmental opportunity to improve plant growth, forage yield and nutrient status. **Plant and Soil**, v. 463, p. 171-186, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-021-04908-x>

HUNTER, M. C.; SMITH, R. G.; SCHIPANSKI, M. E.; ATWOOD, L. W.; MORTENSEN, D. A. Agriculture in 2050: recalibrating targets for sustainable intensification. **BioScience**, v. 67, p. 386–391, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1093/biosci/bix010>

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Disponível em: <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>>. Acesso em: 14 de novembro de 2025.

KUKI, M. C.; SCAPIM, C. A.; PINTO, R. J. B.; FIGUEIREDO, A. S. T.; CONTRERAS-SOTO, R. I.; BERTAGNA, F. A. B. Inbreeding depression and average genetic components in green corn genotypes. **Ciência Rural**, v. 47, p. 1-6, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160024>

KWIATKOWSKI, A.; CLEMENTE, E. Características do milho doce (*Zea mays* L.) para industrialização. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 1, p. 93-103, 2007. DOI: 10.3895/S1981-36862007000200010

LADHA, J. K.; TIROL-PADRE, A.; REDDY, C. K.; CASSMAN, K. G.; VERMA, S.; POWLSON, D. S.; VAN-KESSEL, C.; RICHTER, D. B.; CHAKRABORTY, D.; PATHAK, H. Global nitrogen budgets in cereals: A 50-year assessment for maize, rice, and wheat production systems. **Scientific Reports**, v. 6, p. 1-9, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep19355>

LARSSON, C. M.; INGEMARSSON, B. Molecular aspects of nitrate uptake in higher plants. In: WRAY, J. L.; KINGHORN, J. R. (Ed.). **Molecular and genetics aspects of nitrate assimilation**. Oxford: Oxford Science, 1989. p. 3-14.

LEITE, R. C.; SANTOS, A. C.; SANTOS, J. G. D.; LEITE, R. C.; OLIVEIRA, L. B. T.; HUNGRIA, M. Mitigation of Mombasa grass (*Megathyrsus maximus*) dependence on nitrogen

fertilization as a function of inoculation with *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, p. 1-14, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20180234>

LIU, W. N.; WAN, Z.; GAN, Y. Y.; HU, J. G.; YIN, Y. Development situation and countermeasures of Guangdong sweet corn industry in 2015. **Guangdong Agricultural Sciences**, v. 3, p. 12-16, 2016. DOI: 1004-874X(2016)03-0012-05

LOLLATO, R. P.; FIGUEIREDO, B. M.; DHILLON, J. S.; ARNALL, D. B.; RAUN, W. R. Wheat grain yield and grain-nitrogen relationships as affected by N, P, and K fertilization: A synthesis of long-term experiments. **Field Crops Research**, v. 236, p. 42-57, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.03.005>

LONGHINI, V. Z.; SOUZA, W. C. R. D.; ANDREOTTI, M.; SOARES, N. D. A.; COSTA, N. R. Inoculation of diazotrophic bacteria and nitrogen fertilization in topdressing in irrigated corn. **Revista Caatinga**, v. 29, p. 338-347, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n210rc>

LUCANGELI, C.; BOTTINI, R. Effects of *Azospirillum* spp. on endogenous gibberellin content and growth of maize (*Zea mays* L.) treated with uniconazole. **Symbiosis**, v. 23, p. 63-72, 1997.

LUDWIG, R. L.; MARTIN, T. N.; ROCKENBACH, D.; GIACOMINI, S.; VEY, R. T. Agronomic performance of wheat cultivars in response to inoculation (*Azospirillum brasilense*) and nitrogen application. **Revista Caatinga**, v. 35, p. 799-808, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n407rc>

MAATHUIS, F. J. Physiological functions of mineral macronutrients. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 12, p. 250-258, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.04.003>

MAHMUD, K.; MAKAJU, S.; IBRAHIM, R.; MISSAOUI, A. Current progress in nitrogen fixing plants and microbiome research. **Plants**, v. 9, p. 97-113, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9010097>

MARIANO, R. L. R.; SILVEIRA, E. B.; ASSIS, S. M. P.; GOMES, A. M. A.; NASCIMENTO, A. R. P.; DONATO, V. M. T. S. Importância de bactérias promotoras de crescimento e de biocontrole de doenças de plantas para uma agricultura sustentável. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v. 1, p. 89-111, 2004.

MARQUES, A. C. R.; OLIVEIRA, L. B.; NICOLoso, F. T.; JACQUES, R. J. S.; GIACOMINI, S. J.; QUADROS, F. L. F. Biological nitrogen fixation in C4 grasses of different growth strategies of South America natural grasslands. **Applied Soil Ecology**, v. 113, p. 54-62, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.01.011>

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3^a ed. New York: Academic Press, 2012. 651p.

MARTÍNEZ-DALMAU, J.; BERBEL, J.; ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ, R. Nitrogen fertilization. A review of the risks associated with the inefficiency of its use and policy responses. **Sustainability**, v. 13, p. 1-15, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13105625>

MARTINS, M. R.; JANTALIA, C. P.; REIS, V. M.; DÖWICH, I.; POLIDORO, J. C.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Impact of plant growth-promoting bacteria on grain yield, protein content, and urea-15 N recovery by maize in a Cerrado Oxisol. **Plant and Soil**, v. 422, p. 239-250, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3193-1>

MENESES, N. B.; CECÍLIO FILHO, A. B.; CRUZ, C. A.; CUNHA, T. P. L.; COSTA, L. C.; MENDOZA-CORTEZ, J. W. Accumulation of dry matter and nutrients by supersweet corn. **Agrociencia Uruguay**, v. 22, p. 53-62, 2018. DOI: <https://doi.org/10.31285/agro.22.1.6>

MERLOTI, L. F.; MENDES, L. W.; PEDRINHO, A.; SOUZA, L. F.; FERRARI, B. M.; TSAI, S. M. Forest-to-agriculture conversion in Amazon drives soil microbial communities and N-cycle. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 137, p. 107567, 2019. DOI: [10.1016/j.soilbio.2019.107567](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107567)

MEYER, M. C.; BUENO, A. F.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. **Bioinsumos na cultura da soja**. 1^a ed. Brasília: Embrapa, 2022. 550p.

MIRA, A. B.; CANTARELLA, H.; SOUZA-NETTO, G. J. M.; MOREIRA, L. A.; KAMOGAWA, M. Y.; OTTO, R. Optimizing urease inhibitor usage to reduce ammonia emission following urea application over crop residues. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 248, p. 105-112, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.032>

MODOLO, L. V.; DA-SILVA, C. J.; BRANDÃO, D. S.; CHAVES, I. S. A minireview on what we have learned about urease inhibitors of agricultural interest since mid-2000s. **Journal of Advanced Research**, v. 13, p. 29-37, 2018. DOI: [10.1016/j.jare.2018.04.001](https://doi.org/10.1016/j.jare.2018.04.001)

MORAES, A. R. A.; RAMOS JÚNIOR, E. U. R.; GALLO, P. B.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; SAWASAKI, E.; DUARTE, A. P.; BERNINI, C. S.; GUIMARÃES, P. S. Desempenho de oito cultivares de milho verde na safrinha, no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 9, p. 79-91, 2010. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v9n01p79-91>

MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜRMER, S. L. **O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal**. 1ª ed. Lavras: UFLA, 2013. 352p.

NUMOTO, A. Y.; VIDIGAL FILHO, P. S.; SCAPIM, C. A.; FRANCO, A. A. N.; ORTIZ, A. H. T.; MARQUES, O. J.; E PELLOSO, M. F. Agronomic performance and sweet corn quality as a function of inoculant doses (*Azospirillum brasilense*) and nitrogen fertilization management in summer harvest. **Bragantia**, v. 78, p. 26-37, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2018044>

NUNES, P. H. M. P.; AQUINO, L. A.; SANTOS, L. P. D. D.; XAVIER, F. O.; DEZORDI, L. R.; ASSUNÇÃO, N. S. Yield of the irrigated wheat crop subjected to nitrogen application and to inoculation with *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 174-182, 2015. DOI: [10.1590/01000683rbcs20150354](https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20150354)

OAKS, A.; HIREL, B. Nitrogen metabolism in roots. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 36, p. 345-365, 1985. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.36.060185.002021>

OKON, Y.; LABANDERA-GONZALEZ, C. A. Agronomic applications of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 26, p. 1591-1601, 1994. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(94\)90311-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(94)90311-5)

OLIVEIRA, F. A.; CAVALCANTE, L. F.; SILVA, I. D. F.; PEREIRA, W. E.; OLIVEIRA, J. C.; COSTA FILHO, J. F. Crescimento do milho adubado com nitrogênio e fósforo em um Latossolo Amarelo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, p. 238-244, 2009. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v4i3a1>

OLIVEIRA, F. S.; PELLOSO, M. F.; VIDIGAL FILHO, P. S.; SCAPIM, C. A. Optimizing nitrogen fertilization with *Azospirillum brasilense* and biostimulants for green corn. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 47, p. e69527, 2025. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v47i1.69527>

OLIVEIRA JÚNIOR, L. F. G.; DELIZA, R.; BRESSAN-SMITH, R.; PEREIRA, M. G.; CHIQUIERE, T. B. Seleção de genótipos de milho mais promissores para o consumo *in natura*. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, p. 159-165, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000100026>

OMARA, P.; AULA, L.; OYEBIYI, F.; RAUN, W. R. World cereal nitrogen use efficiency trends: review and current knowledge. **Agrosystems, Geosciences & Environment**, v. 2, p. 1-8, 2019. DOI: <https://doi.org/10.2134/age2018.10.0045>

ORMEÑO-ORRILLO, E.; HUNGRIA, M.; MARTINEZ-ROMERO, E. Dinitrogen-fixing prokaryotes. In: ROSENBERG, E.; DELONG, E. F.; LORY, S.; STACKEBRANDT, E.; THOMPSON, F. (Eds.). **The prokaryotes: prokaryotic physiology and biochemistry**. 4^a ed. Berlin: Springer, 2013. p. 427-451.

PACKER, K. F.; CRAMER, M. D. Quantifying N-loss by root abscission: consequences for wheat N budgets and $\delta^{15}\text{N}$ values. **Journal of Plant Physiology**, v. 231, p. 49-56, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.08.012>

PANKIEVICZ, V. C. S.; IRVING, T. B.; MAIA, L. G. S.; ANÉ, J. M. Are we there yet? The long walk towards the development of efficient symbiotic associations between nitrogen-fixing bacteria and non-leguminous crops. **BMC Biology**, v. 17, p. 1-17, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12915-019-0710-0>

PEDRAZA, R. O.; FILIPPONE, M. P.; FONTANA, C.; SALAZAR, S. M.; RAMÍREZ-MATA, A.; SIERRA-CACHO, D.; BACA, B. E. *Azospirillum*. In: AMARESAN, N.; KUMAR, M. S.; ANNAPURNA, K.; KUMAR, K.; SANKARANARAYANAN, A. (Eds.). **Beneficial Microbes in Agro-Ecology: Bacteria and Fungi**. Cambridge: Academic Press, 2020. p. 73-105.

PELLOSO, M. F.; VIDIGAL FILHO, P. S.; SCAPIM, C. A.; ORTIZ, A. H. T.; NUMOTO, A. Y.; FREITAS, I. R. M. Agronomic performance and quality of baby corn in response to the inoculation of seeds with *Azospirillum brasilense* and nitrogen fertilization in the summer harvest. **Heliyon**, v. 9, p. 1-14, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14618>

PEREIRA-DEFILIPPI, L.; PEREIRA, E. M.; SILVA, F. M.; MORO, G. V. Expressed sequence tags related to nitrogen metabolism in maize inoculated with *Azospirillum brasilense*. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 2, p. 1-14, 2017. DOI: [10.4238/gmr16029682](https://doi.org/10.4238/gmr16029682)

PEREIRA FILHO, I. A. **O cultivo do milho-verde**. 1ª ed. Brasília: Embrapa, 2003. 204p.

PERRIG, D.; BOIERO, M. L.; MASCIARELLI, O. A.; PENNA, C.; RUIZ, O. A.; CASSÁN, F. D.; LUNA, M. V. Plant-growth-promoting compounds produced by two agronomically important strains of *Azospirillum brasilense*, and implications for inoculant formulation. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 75, p. 1143- 1150, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-007-0909-9>

PII, Y.; MIMMO, T.; TOMASI, N.; TERZANO, R.; CESCO, S.; CRECCHIO, C. Microbial interactions in the rhizosphere: beneficial influences of plant growth-promoting rhizobacteria on nutrient acquisition process. A review. **Biology and Fertility of Soils**, v. 51, p. 403-415, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-015-0996-1>

PINHO, L.; PAES, M. C. D.; ALMEIDA, A. C.; COSTA, C. A. Qualidade de milho verde cultivado em sistemas de produção orgânico e convencional. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 7, p. 279-290, 2008. DOI: 10.18512/1980-6477/rbms.v7n3p279-290

PRASAD, R.; HOCHMUTH, G. J. Environmental nitrogen losses from commercial crop production systems in the Suwannee River basin of Florida. **PLOS ONE**, v. 11, p. 1- 19, 2016. DOI: 10.1371/journal.pone.0167558

QUEIROZ, A. M.; SOUZA, C. H. E.; MACHADO, V. J.; LANA, R. M. Q.; KORNDORFER, G. H.; SILVA, A. A. Avaliação de diferentes fontes e doses de nitrogênio na adubação da cultura do milho (*Zea mays* L.). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 10, p. 257-266, 2011. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v10n3p257-266>

RAI, A.; NABTI, E. Plant growth-promoting bacteria: importance in vegetable production. In: ZAIDI, A., KHAN, M. S. (Eds.) **Microbial Strategies for Vegetable Production**. Cham: Springer, 2017. p. 23-48.

RANUM, P.; PEÑA-ROSAS, J. P.; GARCIA-CASAL, M. N. Global maize production, utilization, and consumption. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1312, p. 105-112, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/nyas.12396>

REED, M. S.; BUENEMANN, M.; ATLHOPHENG, J.; AKHTAR-SCHUSTER, M.; BACHMANN, F.; BASTIN, G.; BIGAS, H.; CHANDA, R.; DOUGILL, A. J.; ESSAHLI, W.; EVELY, A. C.; FLESKENS, L.; GEESON, N.; GLASS, J. H.; HESSEL, R.; HOLDEN, J.; IORIS, A. A. R.; KRUGER, B.; LINIGER, H. P.; MPHINYANE, W.; NAINGGOLAN, D.; PERKINS, J.; RAYMOND, C. M.; RITSEMA, C. J.; SCHWILCH, G.; SEBEGO, R.; SEELY, M.; STRINGER, L. C.; THOMAS, R.; TWOMLOW, S.; VERZANDVOORT, S. Cross-scale monitoring and assessment of land degradation and sustainable land management: a methodological framework for knowledge management. **Land Degradation & Development**, v. 22, p. 261-271, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.1087>

REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C.; REIS, V. M.; HUNGRIA, M. Fixação biológica de nitrogênio: uma revolução na agricultura. In: FALEIRO, F. G.; ANDRADE, S. R. M.; REIS JUNIOR, F. B. (Eds.). **Biotecnologia: estado da arte e aplicações na agropecuária**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2011. p. 247-281.

RIBEIRO, B. S. M. R.; ZANON, A. J.; STRECK, N. A.; FRIEDRICH, E. D.; PILECCO, I. B.; ALVES, A. F.; PUNTEL, S.; SARMENTO, L. F. V.; STRECK, I. L.; INKLMAN, V. B.; PETRY, M. T.; MARTINS, J. D.; BORTOLUZZI, M. P.; LOOSE, L. H.; BRUNETTO, G.; MARIN, F. R.; ANTOLIN, L. A. S.; BREDEMEIER, C.; VIAN, A. L.; OLIVEIRA, L. F. R. **Ecofisiologia do milho visando altas produtividades**. 1.ed. Santa Maria: [s. n.], 2020. 230p.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, 1993. 26p. (Special Report, 48).

RODRIGUES, F.; MELO, P. G. S.; RESENDE, C. L. P.; MROJINSKI, F.; MENDES, R. C.; SILVA, M. A. Aptidão de híbridos de milho para o consumo *in natura*. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, p. 211-220, 2018. DOI: <https://doi.org/10.19084/RCA17216>

RODRIGUES, F.; VON PINHO, R. G.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; FARIA FILHO, E. M.; GOULART, J. C. Capacidade de combinação entre linhagens de milho visando à produção de milho verde. **Bragantia**, v. 68, p. 75-84, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052009000100009>

ROSOLEM, C. A.; RITZ, K.; CANTARELLA, H.; GALDOS, M. V.; HAWKESFORD, M. J.; WHALLEY, W. R.; MOONEY, S. J. Enhanced plant rooting and crop system management for improved N use efficiency. **Advances in Agronomy**, v. 146, p. 205-239, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.07.002>

SÁ, J. C. M.; LAL, R.; CERRI, C. C.; LORENZ, K.; HUNGRIA, M.; CARVALHO, P. C. F. Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security. **Environment International**, v. 98, p. 102-112, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.10.020>

SANTOS, M. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Microbial inoculants: reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. **AMB Express**, v. 9, p. 1-22, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13568-019-0932-0>

SANTOS, M. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Outstanding impact of *Azospirillum brasilense* strains Ab-V5 and Ab-V6 on the Brazilian agriculture: Lessons that farmers are receptive to adopt new microbial inoculants. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, p. 1-31, 2021. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcS20200128>

SANTOS, N. C. B.; CARMO, S. A.; MATEUS, G. P.; KOMURO, L. K.; PEREIRA, L. B.; SOUZA, L. C. D. Agronomic features and yield performance of green corn cultivars in the conventional and organic system. **Semina - Ciências Agrárias**, v. 36, p. 1807-1822, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n3Supl1p1807>

SCHULTEN, H. R.; SCHNITZER, M. The chemistry of soil organic nitrogen: a review. **Biologic and Fertility of Soils**, v. 26, p. 1-15, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1007/s003740050335>

SCHULTZ, J. A.; JUVIK, J. A. Current models for starch synthesis and the *sugary enhancer1* (*se1*) mutation in *Zea mays*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 42, p. 457-464, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2004.05.008>

SILVA, P. S. L.; DINIZ FILHO, E. T.; GRANJEIRO, L. C.; DUARTE, S. R. Efeitos de níveis de nitrogênio e da aplicação de deltametrina sobre os rendimentos de espigas verdes e de grãos de milho. **Revista Ceres**, v. 47, p. 75-87, 2000.

SKONIESKI, F. R.; VIÉGAS, J.; MARTIN, T. N.; MINGOTTI, C. C. A.; NAETZOLD, S.; TONIN, T. J.; DOTTO, L. R.; MEINERZ, G. R. Effect of nitrogen topdressing fertilization and inoculation of seeds with *Azospirillum brasilense* on corn yield and agronomic characteristics. **Agronomy**, v. 9, p. 812-822, 2019. DOI: [10.3390/agronomy9120812](https://doi.org/10.3390/agronomy9120812)

SORATTO, R. P.; SILVA, Â. H.; CARDOSO, S. M.; MENDONÇA, C. G. Doses e fontes alternativas de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo arenoso. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 62-70, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000100007>

SOTTA, E. D.; SAMPAIO, F. G.; GALLARDO, J. V. G. **Compilation of greenhouse gas emission and removal factors in brazilian agriculture**. Brasília: Mapa/Senar, 2020. 147p.

SOUZA, Ê. G. F.; CRUZ, E. A. D.; FRANÇA, R. F. D.; SILVA, J. M. D.; BARROS JÚNIOR, A. P.; BEZERRA NETO, F. Economic nitrogen rate for fertigation of green corn crop in the Brazilian semiarid. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, p. 1-10, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00556>

SOUZA, E. J. D.; CUNHA, F. F. D.; MAGALHÃES, F. F.; SILVA, T. R. D.; SANTOS, O. F. D. Effect of irrigation and nitrogen fertilization on agronomic traits of sweet corn. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, p. 282-290, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4533628>

SPACKMAN, J. A.; FERNANDEZ, F. G.; COULTER, J. A.; KAISER, D. E.; PAIAO, G. Soil texture and precipitation influence optimal time of nitrogen fertilization for corn. **Agronomy Journal**, v. 111, p. 2018-2030, 2019. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2018.09.0605>

STAHL, A.; PFEIFER, M.; FRISCH, M.; WITTKOP, B.; SNOWDON, R. J. Recent genetic gains in nitrogen use efficiency in oilseed rape. **Frontiers in Plant Science**, v.8, p. 963, 2017. DOI: [10.3389/fpls.2017.00963](https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00963)

SZCZERBA, M. W.; BRITTO, D. T.; ALI, S. A.; BALKOS, K. D.; KRONZUCKER, H. J. NH_4^+ -stimulated and-inhibited components of K^+ transport in rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Experimental Botany**, v. 59, p. 3415-3423, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/ern190>

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia vegetal**. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.

TARRAND, J. J.; KRIEG, N. R.; DÖBEREINER, J. A taxonomic study of the *Spirillum lipoferum* group, with the descriptions of a new genus, *Azospirillum* gen. nov. and two species *Azospirillum lipoferum* (Beijerinck) comb. nov. and *Azospirillum brasilense* sp. nov. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 24, p. 967-980, 1978. DOI: 10.1139/m78-160

TEI, F.; DE NEVE, S.; DE HAAN, J.; KRISTENSEN, H. L. Nitrogen management of vegetable crops. **Agricultural Water Management**, v. 240, p. 1-13, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106316>

TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; BENETT, C. G. S.; ARF, O.; SÁ, M. E. Wheat nitrogen fertilization under no till on the low altitude Brazilian Cerrado. **Journal of Plant Nutrition**, v. 37, p. 1732-1748, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.889150>

TEMPESTA, M.; GIANQUINTO, G.; HAUSER, M.; TAGLIAVINI, M. Optimization of nitrogen nutrition of cauliflower intercropped with clover and in rotation with lettuce. **Scientia Horticulturae**, v. 246, p. 734-740, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.020>

TORTORA, M.; DÍAZ-RICCI, J. C.; PEDRAZA, R. O. *Azospirillum brasilense* siderophores with antifungal activity against *Colletotrichum acutatum*. **Archives of Microbiology**, v. 193, p. 275-286, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00203-010-0672-7>

TURAN, M.; GULLUCE, M.; VON WIRÉN, N.; SAHIN, F. Yield promotion and phosphorus solubilization by plant growth-promoting rhizobacteria in extensive wheat production in Turkey. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 175, p. 818-826, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1002/jpln.201200054>

UZUN, S.; ÖZAKTAN, H.; UZUN, O. Effects of different nitrogen dose and sources as top-dressing on yield and silage quality attributes of silage maize. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, p. 1-10, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020190030>

VITTI, G. C.; BARROS JÚNIOR, M. C. Diagnóstico da fertilidade do solo e adubação para alta produtividade de milho. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. (Eds.). **Milho: tecnologia e produtividade**. Piracicaba: ESALQ/LPV, 2001. p. 179-222.

XU, G.; FAN, X.; MILLER, A. J. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. **Annual Review of Plant Biology**, v. 63, p. 153-182, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-105532>

YANG, X.; LI, Y.; REN, B.; DING, L.; GAO, C.; SHEN, Q.; GUO, S. Drought-induced root aerenchyma formation restricts water uptake in rice seedlings supplied with nitrate. **Plant and Cell Physiology**, v. 53, p. 495-504, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1093/pcp/pcs003>

YOSHIURA, C. A.; VENTURINI, A. M.; BRAGA, L. P. P.; FRANÇA, A. G.; LYRA, M. C. C. P.; TSAI, S. M.; RODRIGUES, J. L. M. Responses of low-cost input combinations on the microbial structure of the maize rhizosphere for greenhouse gas mitigation and plant biomass production. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 683658, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.683658>

ZAHEER, M. S.; RAZA, M. A. S.; SALEEM, M. F.; KHAN, I. H.; AHMAD, S.; IQBAL, R.; MANEVSKI, K. Investigating the effect of *Azospirillum brasilense* and *Rhizobium pisi* on agronomic traits of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 65, p. 1554-1564, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1566954>

ZEFFA, D. M.; FANTIN, L. H.; SANTOS, O. J. A. P.; OLIVEIRA, A. L. M.; CANTERI, M. G.; SCAPIM, C. A., GONÇALVES, L. S. A. The influence of topdressing nitrogen on *Azospirillum* spp. inoculation in maize crops through meta-analysis. **Bragantia**, v. 77, p. 493–500, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2017273>

ZHAO, X.; ZHOU, Y.; MIN, J.; WANG, S.; SHI, W.; XING, G. Nitrogen runoff dominates water nitrogen pollution from rice-wheat rotation in the Taihu Lake region of China. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 156, p. 1-11, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.04.024>