

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 CAMPOS BELOS

LUCIANE RODRIGUES NOLETO

MONOGRAFIA

CAMPOS BELOS, GO

2025

LUCIANE RODRIGUES NOLETO

**CARBONO ORGÂNICO E MICRORGANISMOS NO DESENVOLVIMENTO DA
SOJA NOS ESTADOS DO MARANHÃO, PARÁ E TOCANTINS**

Monografia apresentada à Banca Examinadora do Curso de Pós graduação *lato sensu* em Bioinsumos Instituto Federal Goiano como exigência parcial para obtenção do título de especialista.

Orientador: Prof. Me. Thiago Dias Silva.

CAMPOS BELOS, GO

2025

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)

Dissertação (mestrado)

Monografia (especialização)

TCC (graduação)

Artigo científico

Capítulo de livro

Livro

Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Matrícula:

Título do trabalho:

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.

Local

/ /
Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)



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

Documentos 173/2025 - UE-CB/GE-CB/CMPCBE/IFGOIANO

Regulamento de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) 3 CEBIO/IF Goiano

ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos Doze dias do mês de Setembro de dois mil e vinte e Vinte e Cinco, às 11h05min, reuniu-se (de forma híbrida) a Banca Examinadora composta por: Prof. Me. Thiago Dias Silva, Orientador e Presidente da Banca Examinadora, IF Goiano – Campus Campos Belos | Prof. Dr. Antônio Carlos Martins dos Santos (membro interno), IF Goiano – Campus Campos Belos | Ma. Marta Jubielle Dias Felix (membra externa) - Agrônoma, UEG - Universidade Estadual de Goiás - Campus Ceres; para examinar o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado CARBONO ORGÂNICO E MICROORGANISMOS NO DESENVOLVIMENTO DA SOJA NOS ESTADOS DO MARANHÃO, PARÁ E TOCANTINS de Luciane Rodrigues Noleto, estudante do curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Bioinsumos do IF Goiano – Campus Campos Belos, sob Matrícula nº 2024106304260006. A palavra foi concedida à estudante para a apresentação oral do TC, em seguida houve arguição da candidata pelos membros da Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela APROVAÇÃO da estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que, após apresentação da versão corrigida do TC, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Prof. Me. Thiago Dias Silva | Orientador e Presidente da Banca Examinadora
IF Goiano – Campus Campos Belos

(Assinado Eletronicamente)

Prof. Dr. Antônio Carlos Martins dos Santos (membro interno) –
Professor | IF Goiano – Campus Campos Belos

(Assinado Eletronicamente - Via GovBr)

Ma. Marta Jubielle Dias Felix (membra externa) -
Agrônoma | UEG – Campus Ceres

Documento assinado eletronicamente por:

- **Thiago Dias Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 12/09/2025 12:14:53.
- **Antonio Carlos Martins dos Santos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 12/09/2025 12:17:23.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 12/09/2025. 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: 743785

Código de Autenticação: d384c4c588



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Campos Belos

Rodovia GO-118 Qd. 1-A Lt. 1 Caixa Postal, 1, Setor Novo Horizonte, CAMPOS BELOS / GO, CEP 73.840-000

(62) 3451-3386

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 CAMPOS BELOS

LUCIANE RODRIGUES NOLETO

MONOGRAFIA

CAMPOS BELOS, GO

2025

LUCIANE RODRIGUES NOLETO

**CARBONO ORGÂNICO E MICRORGANISMOS NO DESENVOLVIMENTO DA
SOJA NOS ESTADOS DO MARANHÃO, PARÁ E TOCANTINS**

Monografia apresentada à Banca Examinadora do Curso de Pós graduação *lato sensu* em Bioinsumos Instituto Federal Goiano como exigência parcial para obtenção do título de especialista.

Orientador: Prof. Me. Thiago Dias Silva.

CAMPOS BELOS, GO

2025

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

N791 Rodrigues Noleto, Luciane
 CARBONO ORGÂNICO E MICRORGANISMOS NO
 DESENVOLVIMENTO DA SOJA NOS ESTADOS DO
 MARANHÃO, PARÁ E TOCANTINS / Luciane Rodrigues
 Noleto. Campos Belos 2025.

 1f. il.

 Orientador: Prof. Me. Thiago Dias Silva.
 Coorientadora: Prof^a. Dra. Arianne Ferreira Lacerda.
 Monografia (Especialista) - Instituto Federal Goiano, curso de
0630426 - Especialização em Bioinsumos - Campos Belos
(Campus Campos Belos).
 I. Título.

Bibliotecária Responsável

LUCIANE RODRIGUES NOLETO

**CARBONO ORGÂNICO E
MICRORGANISMOS NO
DESENVOLVIMENTO DA SOJA NOS
ESTADOS DO MARANHÃO, PARÁ E
TOCANTINS**

Monografia apresentada à Banca Examinadora do Curso de Pós-graduação *lato sensu* em Bioinsumos Campus Campos Belos do IF Goiano como exigência parcial para a obtenção do título de Especialista em Bioinsumos.

Campos Belos, GO. 12 de setembro de 2025.

BANCA EXAMINADORA

.....
Prof. Me. Thiago Dias Silva (orientador)

IF Goiano – Campos Belos

.....
Prof. Dr. Antônio Carlos Martins dos Santos

IF Goiano – Campus Campos Belos

.....
Prof. Ma. Marta Jubielle Dias Félix

Universidade Estadual de Goiás - Campus Ceres

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo amor incondicional, pela força silenciosa e pela fé que sempre depositaram em mim. Cada conquista que celebro hoje tem raízes no apoio, nos conselhos e nos exemplos que me deram. Este é mais um passo que só foi possível porque vocês nunca deixaram que eu desistisse.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela vida, pelas oportunidades e por me sustentar em todos os momentos dessa jornada.

Ao Instituto Federal Goiano, pela estrutura, acolhimento e pela excelência no ensino, que foram fundamentais para minha formação.

Ao meu orientador, professor Thiago Dias Silva, pela paciência e orientação valiosa durante todo o desenvolvimento deste trabalho. Sua contribuição foi essencial para a concretização deste projeto.

Agradeço também ao programa de pós-graduação em Bioinsumos, e às instituições de apoio **FAPEG**, **FUNAPE**, **IF GOIANO** e **CEBIO**, que contribuíram significativamente para minha trajetória acadêmica e profissional.



BIOGRAFIA DO ALUNO

Luciane Rodrigues Noletto é natural do estado do Tocantins. Formou-se como técnica em Agropecuária e, posteriormente, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal do Tocantins (UFT). Concluiu a especialização em Proteção de Plantas pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) e a especialização em Solos e Nutrição de Plantas pela SolloAgro/ESALQ. Atualmente, atua em uma empresa privada no segmento de bioinsumos On Farm, exercendo a função de desenvolvedora de mercado. Seus principais interesses de pesquisa concentram-se na interação de bioinsumos com a nutrição vegetal, com ênfase em estudos de compatibilidade.

RESUMO

O uso de microrganismos benéficos do solo tem se consolidado como uma prática promissora para promover o desenvolvimento vegetal e reduzir a dependência de insumos sintéticos, especialmente em sistemas agrícolas sob plantio direto. Entretanto, a eficiência desses bioinsumos pode ser limitada em ambientes com baixa disponibilidade de carbono lábil, essencial para o crescimento e atividade microbiana. Este trabalho avaliou os efeitos da aplicação de um inoculante comercial à base de *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus subtilis* e *Priestia megaterium*, isoladamente ou associado a um produto comercial formulado com carbono orgânico, sobre o desenvolvimento radicular, nodulação e produtividade da soja em três regiões de clima tropical com inverno seco: Tocantins, Pará e Maranhão. Os experimentos foram conduzidos em áreas comerciais, utilizando delineamento em blocos casualizados com dez repetições. Foram avaliadas as variáveis: stand de plantas, comprimento de raiz, número de nódulos por planta, peso de nódulos e produtividade. Os resultados demonstraram que a associação do inoculante ao carbono orgânico proporcionou ganhos significativos em variáveis-chave, como o aumento de até 41% no número de nódulos, 64,5% no peso de nódulos, 32,1% no comprimento de raiz e 7,9% na produtividade, a depender da localidade. A resposta mais expressiva foi observada no Maranhão, embora os efeitos benéficos tenham se repetido nas demais regiões. Conclui-se que o uso combinado de bioinsumos e fontes de carbono assimilável intensifica a atividade biológica do solo e melhora a performance agrônômica da soja, configurando-se como prática tecnicamente recomendada para sistemas produtivos sustentáveis.

Palavras-chave: *Bacillus*; Bioinsumos; Carbono Lábil; Fixação Biológica de Nitrogênio.

ABSTRACT

The use of beneficial soil microorganisms has emerged as a promising strategy to enhance plant development and reduce reliance on synthetic inputs, particularly in no-tillage agricultural systems. However, the effectiveness of these bioinputs may be limited in environments with low availability of labile carbon, which is essential for microbial growth and activity. This study evaluated the effects of a commercial inoculant based on *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus subtilis*, and *Priestia megaterium*, applied alone or in combination with a commercial product formulated with organic carbon, on root development, nodulation, and soybean yield in three tropical regions with dry winters: Tocantins, Pará, and Maranhão. The experiments were carried out in commercial fields, using a randomized block design with ten replicates. The variables assessed included plant stand, root length, number of nodules per plant, nodule weight, and yield. The results showed that the combination of the inoculant with organic carbon led to significant improvements in key variables, with increases of up to 41% in the number of nodules, 64.5% in nodule weight, 32.1% in root length, and 7.9% in yield, depending on the location. The most expressive response was observed in Maranhão, although beneficial effects were consistently recorded across all regions. It is concluded that the combined use of bioinputs and assimilable carbon sources enhances soil biological activity and improves soybean agronomic performance, representing a technically recommended practice for sustainable production systems.

Keywords: *Bacillus*; Bioinputs; Labile Carbon; Biological Nitrogen Fixation; Rhizosphere.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Stand de plantas, comprimento de raiz (CR), número de nódulos por planta (NNP), peso de nódulos e produtividade da soja inoculada com <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> , <i>Bacillus subtilis</i> e <i>Priestia megaterium</i> associada ou não ao uso de carbono orgânico no estado do Tocantins	33
Tabela 02 – Stand de plantas, comprimento de raiz (CR), número de nódulos por planta (NNP), peso de nódulos e produtividade da soja inoculada com <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> , <i>Bacillus subtilis</i> e <i>Priestia megaterium</i> associada ou não ao uso de carbono orgânico no estado do Pará	34
Tabela 03 – Stand de plantas, comprimento de raiz (CR), número de nódulos por planta (NNP), peso de nódulos e produtividade da soja inoculada com <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> , <i>Bacillus subtilis</i> e <i>Priestia megaterium</i> associada ou não ao uso de carbono orgânico no estado do Maranhão	35

LISTA DE SIGLAS

ABNT	–	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAB	–	Companhia Nacional de Abastecimento
DAP	–	Dias Após a Emergência
FBN	–	Fixação Biológica de Nitrogênio
IF Goiano	–	Instituto Federal Goiano
JCR	–	Journal Citations Reports
NNP	–	Número de Nódulos por Planta
PN	–	Peso de Nódulos
Prod	–	Produtividade
SP	–	Stand de Plantas
TSI	–	Tratamento de Sementes Industrial

SUMÁRIO

Resumo	8
Abstract.....	9
Lista de Tabelas	10
Lista de Siglas	11
1. Introdução Geral.	13
2. Objetivos	17
3. Capítulo I	19
4. Conclusão Geral	32

1. INTRODUÇÃO GERAL

O aumento acelerado da população mundial tem intensificado a pressão sobre os sistemas agrícolas para suprir a demanda por alimentos, rações e matérias-primas energéticas, exigindo formas de produção que conciliem produtividade, sustentabilidade e conservação dos recursos naturais (Cahyani et al., 2018; Marom et al., 2017).

Nesse cenário, torna-se urgente o desenvolvimento de tecnologias capazes de aumentar a eficiência dos cultivos sem ampliar a pegada ambiental da agricultura, especialmente em regiões tropicais, onde os solos apresentam, frequentemente, baixa fertilidade natural e perda progressiva de matéria orgânica (Bachtiar e Ahmad, 2019; Mulyawan et al., 2019).

Entre as culturas agrícolas de maior relevância no contexto agroindustrial global destaca-se a soja (*Glycine max* L.), não apenas por seu elevado teor de proteína vegetal, mas também por sua ampla utilização nos setores alimentício, oleoquímico e energético (Nur et al., 2024).

A soja apresenta ainda a vantagem agrônômica de estabelecer simbiose com microrganismos fixadores de nitrogênio, contribuindo para a economia no uso de fertilizantes e para a manutenção da fertilidade do solo ao longo do tempo (Cahyani et al., 2018; Fitri et al., 2020). No entanto, mesmo com essa capacidade, o cultivo intensivo da soja tem levado à exaustão da matéria orgânica do solo, principalmente do carbono orgânico, um dos principais indicadores da qualidade edáfica e da capacidade de suporte biológico dos agroecossistemas (Bachtiar e Ahmad, 2019).

Nesse contexto, práticas agrícolas sustentáveis vêm sendo amplamente estudadas como estratégias para restaurar o equilíbrio dos sistemas produtivos. Dentre essas práticas, o uso de bioinsumos tem se destacado, especialmente os bioinoculantes microbianos, como as rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (PGPR), que têm a capacidade de melhorar a dinâmica de nutrientes no solo, estimular o crescimento vegetal e aumentar a produtividade das culturas (Mulyawan et al., 2019; Fitri et al., 2020; Choliq et al., 2020).

As PGPR atuam por múltiplos mecanismos, como a solubilização de fósforo, a produção de hormônios vegetais, o controle biológico de patógenos e a indução de

resistência sistêmica, além de contribuírem para a estabilização da matéria orgânica e o incremento do carbono no solo (Angraeni et al., 2018; Cesaria et al., 2012).

Associados aos bioinoculantes, os fertilizantes orgânicos líquidos (LOF) representam outra alternativa promissora, sendo geralmente obtidos pela fermentação de resíduos vegetais e orgânicos ricos em macro e micronutrientes, bem como em compostos bioativos com potencial de estimular o metabolismo vegetal (Sitanggang et al., 2022; Wulandari et al., 2009). Sua aplicação via foliar ou no solo favorece a absorção rápida de nutrientes e o fortalecimento do sistema radicular, além de alimentar os microrganismos da rizosfera, promovendo um ambiente propício para o desenvolvimento das PGPR (Cahyono, 2016; Laginda, 2017). Quando utilizados em conjunto, PGPR e LOF podem atuar de forma sinérgica, potencializando seus efeitos sobre o crescimento das plantas e a saúde do solo, com destaque para o acúmulo de carbono orgânico, fundamental para a sustentabilidade dos sistemas produtivos (Nur et al., 2024).

Ainda que os benefícios individuais desses bioinsumos estejam bem documentados, são escassos os estudos que avaliam sistematicamente os efeitos da aplicação combinada de PGPR e LOF na cultura da soja, sobretudo quanto ao seu impacto sobre a dinâmica do carbono orgânico no solo (Marom et al., 2017). Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo revisar a literatura científica recente e analisar os resultados de experimentos que investigam o uso integrado desses bioinsumos, com foco nos efeitos agronômicos e edáficos associados ao cultivo da soja, contribuindo para o avanço do conhecimento sobre práticas agrícolas sustentáveis em sistemas tropicais.

2. OBJETIVOS

GERAL:

Analisar os efeitos do uso combinado de bioinoculantes à base de rizobactérias promotoras de crescimento (PGPR) e fontes de carbono orgânico no desenvolvimento da cultura da soja e na dinâmica do carbono orgânico do solo, com foco em práticas sustentáveis que promovam a saúde do solo e a eficiência produtiva.

ESPECÍFICOS:

Identificar os principais grupos de microrganismos utilizados como bioinoculantes na cultura da soja, destacando os gêneros mais estudados, mecanismos de ação e benefícios agronômicos relatados na literatura.

Caracterizar o papel das fontes de carbono orgânico no solo quanto à sua influência sobre a atividade microbiana, mineralização de nutrientes e contribuição para a formação de matéria orgânica estável.

Analisar os efeitos sinérgicos da aplicação conjunta de PGPR e carbono orgânico sobre parâmetros agronômicos da soja, como nodulação, desenvolvimento radicular e produtividade.

Avaliar a influência dessas práticas sobre os teores de carbono orgânico no solo, considerando sua relação com a sustentabilidade e a resiliência dos agroecossistemas tropicais.

Reunir evidências científicas que subsidiem recomendações técnicas para o uso integrado de bioinoculantes e carbono orgânico, com foco na eficiência biológica e na redução da dependência de fertilizantes sintéticos.

FOLHA DE ROSTO

Carbono orgânico associado a microrganismos de solo na cultura da soja

NOLETO, Luciane Rodrigues¹; SILVA, Thiago Dias²

VINCULO

INSTITUCIONAL

¹ Discente do Programa de Pós-Graduação *lato sensu* em Bioinsumos, Instituto Federal Goiano - Campus Campos Belos (IF Goiano - CBE)

² Chefe de Pós-Graduação e Docente do Programa de Pós-Graduação *lato sensu* em Bioinsumos, Instituto Federal Goiano - Campus Campos Belos (IF Goiano - CBE)

REVISTA PARA A QUAL O ARTIGO SERÁ SUBMETIDO

Global Science and Technology – Revista Multidisciplinar

CLASSIFICAÇÃO DA REVISTA SEGUNDO A CAPES (QUALIS)

Qualis A4 – Área de Ciências Agrárias I e Interdisciplinar (última avaliação quadrienal)

FATOR DE IMPACTO (JCR)

A revista não possui fator de impacto JCR, mas é indexada em bases como Google Scholar e DOAJ.

3. CAPÍTULO I

Carbono orgânico associado a microrganismos de solo na cultura da soja

Resumo: O uso de microrganismos benéficos do solo tem se consolidado como uma prática promissora para promover o desenvolvimento vegetal e reduzir a dependência de insumos sintéticos, especialmente em sistemas agrícolas sob plantio direto. Entretanto, a eficiência desses bioinsumos pode ser limitada em ambientes com baixa disponibilidade de carbono lábil, essencial para o crescimento e atividade microbiana. Este trabalho avaliou os efeitos da aplicação de um inoculante comercial à base de *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus subtilis* e *Priestia megaterium*, isoladamente ou associado a um produto comercial formulado com carbono orgânico, sobre o desenvolvimento radicular, nodulação e produtividade da soja em três regiões de clima tropical com inverno seco: Tocantins, Pará e Maranhão. Os experimentos foram conduzidos em áreas comerciais, utilizando delineamento em blocos casualizados com dez repetições. Foram avaliadas as variáveis: stand de plantas, comprimento de raiz, número de nódulos por planta, peso de nódulos e produtividade. Os resultados demonstraram que a associação do inoculante ao carbono orgânico proporcionou ganhos significativos em variáveis-chave, como o aumento de até 41% no número de nódulos, 64,5% no peso de nódulos, 32,1% no comprimento de raiz e 7,9% na produtividade, a depender da localidade. A resposta mais expressiva foi observada no Maranhão, embora os efeitos benéficos tenham se repetido nas demais regiões. Conclui-se que o uso combinado de bioinsumos e fontes de carbono assimilável intensifica a atividade biológica do solo e melhora a performance agrônômica da soja, configurando-se como prática tecnicamente recomendada para sistemas produtivos sustentáveis.

Palavras-chave: *Bacillus*; Bioinsumos; Carbono Lábil; Fixação Biológica de Nitrogênio; Rizosfera.

Abstract: The use of beneficial soil microorganisms has emerged as a promising strategy to enhance plant development and reduce reliance on synthetic inputs, particularly in no-tillage agricultural systems. However, the effectiveness of these bioinputs may be limited in environments with low availability of labile carbon, which is essential for microbial

growth and activity. This study evaluated the effects of a commercial inoculant based on *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus subtilis*, and *Priestia megaterium*, applied alone or in combination with a commercial product formulated with organic carbon, on root development, nodulation, and soybean yield in three tropical regions with dry winters: Tocantins, Pará, and Maranhão. The experiments were carried out in commercial fields, using a randomized block design with ten replicates. The variables assessed included plant stand, root length, number of nodules per plant, nodule weight, and yield. The results showed that the combination of the inoculant with organic carbon led to significant improvements in key variables, with increases of up to 41% in the number of nodules, 64.5% in nodule weight, 32.1% in root length, and 7.9% in yield, depending on the location. The most expressive response was observed in Maranhão, although beneficial effects were consistently recorded across all regions. It is concluded that the combined use of bioinputs and assimilable carbon sources enhances soil biological activity and improves soybean agronomic performance, representing a technically recommended practice for sustainable production systems.

Keywords: *Bacillus*; Bioinputs; Labile Carbon; Biological Nitrogen Fixation; Rhizosphere.

3.1 Introdução

Na lista dos grandes produtores mundiais de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), o Brasil ocupa o primeiro lugar, estando à frente de países como os EUA e Argentina. Dentre os grandes produtores mundiais, o Brasil é o único que apresenta potencial suficiente para uma expansão em área cultivada, sendo capaz de multiplicar sua produção (MANDARINO, 2017).

A produtividade da soja é dependente das condições edafoclimáticas como fotoperíodo, disponibilidade hídrica e temperatura, além do manejo do solo, que afetam diretamente a disponibilidade de nutrientes (PEIXOTO et al., 2000). A safra 2023/2024 apresentou cerca de 45,7 milhões de hectares semeados, um acréscimo de 3,8%, e uma produção de cerca de 147,6 milhões de toneladas, uma redução de 4,5% em relação à safra anterior, cenário observado em quase todo o país. Isso se deve às condições climáticas adversas que afetaram o desenvolvimento da cultura, incluindo períodos de seca e excesso de precipitações em momentos críticos (CONAB, 2024).

Com a crescente preocupação mundial pela preservação ambiental e a produção de alimentos mais saudáveis e de forma sustentável, conceitos como agricultura regenerativa e bioinsumos estão em evidência (MEYER, 2022). A cultura da soja é, sem dúvida, uma das principais responsáveis pelo crescimento do uso de bioinsumos no Brasil. Além da fixação biológica de nitrogênio em larga escala, também o controle biológico de pragas e doenças é amplamente utilizado nessa cultura (CropLife, 2021). Nesse contexto, a compreensão dos processos microbiológicos do solo torna-se essencial, uma vez que a biomassa microbiana constitui a fração viva da matéria orgânica. Essa biomassa desempenha papel-chave em diversos processos, como decomposição, mineralização e ciclagem de nutrientes, além de representar um importante reservatório de nitrogênio (N), fósforo (P) e energia (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A interação dos microrganismos com o carbono orgânico do solo é fundamental para a manutenção da fertilidade e da qualidade ambiental, pois esses organismos atuam como agentes transformadores da matéria orgânica em diferentes frações e formas disponíveis. A biomassa microbiana utiliza o carbono como fonte de energia e crescimento, promovendo a decomposição de resíduos vegetais e a mineralização de nutrientes, além de participar da formação de substâncias húmicas estáveis que contribuem para o sequestro de carbono e a melhoria da estrutura do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Frações lábeis do carbono, como carboidratos e ácidos orgânicos, estimulam a atividade microbiana e geram efeito "*priming*", acelerando a

decomposição da matéria orgânica nativa (KUZYAKOV et al., 2000).

Essa transformação resulta em solos mais saudáveis, produtivos e biologicamente ativos, com maior resiliência, eficiência no uso de nutrientes, capacidade de armazenamento de água e potencial de biorremediação de pesticidas (MEYER, 2022). Nesse cenário, o uso de microrganismos benéficos tem se consolidado como uma estratégia eficiente e sustentável para promover o crescimento das plantas e melhorar a saúde do solo. No entanto, sua aplicação isolada pode apresentar eficiência limitada diante da ausência de fontes adequadas de carbono que sustentem sua atividade e multiplicação no ambiente (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Diante disso, objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos da aplicação de um produto comercial à base de carbono orgânico, em associação com microrganismos benéficos, sobre o desenvolvimento e a produtividade da cultura da soja.

3.2 Material e Métodos

O trabalho foi conduzido em três áreas comerciais de produção de soja, localizadas nas cidades de Caseara – TO ($9^{\circ}16'40''\text{S}, 49^{\circ}57'21''\text{W}$). A cultivar utilizada nesta área foi a Olimpo. A segunda área, no município de Tasso Fragoso – MA ($8^{\circ}28'30''\text{S}, 45^{\circ}44'34''\text{O}$), sendo que nessa, a cultivar utilizada foi a Maracaí e a terceira área, no município de Santana do Araguaia – PA ($9^{\circ}19'51''\text{S}, 50^{\circ}20'33''\text{O}$), com a cultivar TMG 2383. Apesar da distância entre os campos, as três lavouras, se enquadram em regiões de clima tropical com inverno seco, apresentando um clima classificado como Aw segundo o sistema de Köppen-Geiger. Caracterizado por temperaturas elevadas durante o ano todo e uma estação seca bem definida (METEORED, 2025).

Todos os campos demonstrativos tinham 20 ha e o espaçamento de semeadura utilizado foi de 0,5m entre linhas e em média, dependente da variável, 0,08m entre plantas. Todas as áreas seguiram o sistema de plantio direto, sem revolvimento do solo. Os três produtores, apesar das diferentes cultivares, utilizaram sementes com TSI padrão de cada região. A semeadura da soja foi realizada conforme o calendário agrícola de cada região, sendo que na fazenda no município de Caseara – TO, a data de plantio foi 22 de outubro de 2023, na cidade fazenda de Tasso Fragoso – MA, o plantio foi na data de 12 de novembro de 2023 e na fazenda da cidade de Sanatana do Araguaia – PA, o plantio foi na data de 28 de novembro de 2023. As práticas de manejo (adubação, controle de plantas daninhas, pragas e doenças) foram realizadas conforme o manejo usual de cada

propriedade.

Foi adotado um delineamento em blocos casualizados com 10 repetições e dois tratamentos, sendo eles: i) inoculante comercial aplicado via sulco de semeadura, composto pelos microrganismos *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus subtilis* e *Priestia megaterium*; ii) inoculante comercial supracitado associado a um produto comercial à base de carbono orgânico. Todos os três experimentos foram instalados em área de produção, em condições de campo, seguindo o delineamento, em faixas lado a lado.

As seguintes variáveis foram mensuradas ao longo do ciclo da cultura: Stand de plantas (SP), avaliado aos dez dias após emergência (DAP) por meio da contagem em metros lineares. Comprimento de raiz (CR, em cm), medido em dez plantas coletadas aleatoriamente em cada faixa de tratamento. Número de nódulos por planta (NNP), determinado por contagem manual após lavagem das raízes. Peso de nódulos (PN, em g), obtido após retirada das plantas pós contagem manual, seguido de pesagem em balança analítica e a Produtividade (Prod, em Sc/ha), obtida pela colheita das parcelas experimentais, corrigida para 13% de umidade.

Após coleta, os dados foram tabelados e submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para verificação dos pressupostos de normalidade e homoscedasticidade dos dados. Em seguida, foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e ao teste F de Fisher. Para as variáveis significativas, os dados ainda foram submetidos ao teste T de Student. Todas as análises foram realizadas utilizando o software R Statistical versão 4.4.2.

3.3 Resultados e Discussões

Em Tocantins, o stand de plantas em área cultivada apenas com uso do inoculante comercial ou do mesmo associado ao carbono orgânico foi semelhante ($P>0,05$) (Tabela 01). Contudo, para as variáveis comprimentos de raiz, número de nódulos, peso dos nódulos e produtividade houve diferença significativa entre os tratamentos ($P<0,01$).

Tabela 01. Stand de plantas, comprimento de raiz (CR), número de nódulos por planta (NNP), peso de nódulos e produtividade da soja inoculada com *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus subtilis* e *Priestia megaterium* associada ou não ao uso de carbono orgânico no estado do Tocantins

C.O.	Stand	CR cm	NNP	PN g	Produtividade Sc/ha
Sem	12,7 ± 0,95	20,86 b ± 3,15	25,2 b ± 2,74	0,52 b ± 0,09	91,2 b ± 1,68
Com	13,2 ± 0,78	27,57 a ± 3,70	33,9 a ± 4,70	0,71 a ± 0,11	94,2 a ± 1,75
CV (%)	6,93	14,89	13,30	17,91	0,72
P-value	0,2443 ^{NS}	0,0024**	<0,001**	0,0036**	<0,001**

Nota: Letras diferentes na coluna indicam diferença significativa pelo teste T de Student. ^{NS}: Não Significativo; *Significativo ao Nível de 5%; **Significativo ao Nível de 1%; CV: coeficiente de variação.

No Tocantins, observou-se que a adição de carbono orgânico resultou em incrementos significativos de 32,1% no comprimento de raiz (de 20,86 cm para 27,57 cm), 34,5% no número de nódulos por planta (de 25,2 para 33,9), 36,5% no peso de nódulos (de 0,52 g para 0,71 g) e 3,3% na produtividade (de 91,2 para 94,2 sc/ha), em comparação ao uso isolado do inoculante.

A ausência de diferença no stand de plantas indica que o tratamento não influenciou a germinação ou a emergência inicial, mas atuou predominantemente nas fases subsequentes de desenvolvimento, especialmente na interação entre raízes e microbiota rizosférica. O maior desenvolvimento radicular pode ser atribuído à ação de fitormônios como auxinas e giberelinas produzidos por bactérias do gênero *Bacillus*, cuja atividade metabólica é intensificada na presença de carbono orgânico como fonte energética (SANSINENEA, 2019; PELLEGRINO et al., 2022).

Os aumentos no número e peso de nódulos sugerem maior eficiência na fixação biológica de nitrogênio (FBN), uma vez que a atividade microbiana é limitada, em muitos solos tropicais, pela disponibilidade de carbono lábil. A adição desse elemento estimula a mineralização da matéria orgânica e a atividade de bactérias diazotróficas, resultando em maior aporte de nitrogênio à planta. Essa relação é fundamental, especialmente em sistemas de plantio direto, nos quais o carbono da palhada é menos acessível microbiologicamente (YANG et al., 2022; TELLES; NOGUEIRA; HUNGRIA, 2023).

Os dados obtidos corroboram com estudos recentes que mostram aumento de até 40% na nodulação e melhoria da produtividade quando bioinsumos são associados

a fontes de carbono assimilável (ZOU et al., 2024; JATUWONG et al., 2025).

Já no estado do Pará, o stand de plantas e o comprimento da raiz de soja não foram influenciados pelo uso do inoculante associando ou não ao carbono orgânico ($P>0,05$) (Tabela 02). Contudo, para as variáveis número de nódulos ($P<0,05$), peso dos nódulos e produtividade ($P<0,01$) houve diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 02. Stand de plantas, comprimento de raiz (CR), número de nódulos por planta (NNP), peso de nódulos e produtividade da soja inoculada com *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus subtilis* e *Priestia megaterium* associada ou não ao uso de carbono orgânico no estado do Pará

C.O.	Stand	CR Cm	NNP	PN G	Produtividade Sc/ha
Sem	10,9 ± 0,73	12,92 ± 1,99	11,9 b ± 2,18	0,29 b ± 0,04	51,6 b ± 0,96
Com	11,6 ± 0,70	14,80 ± 2,32	16,5 a ± 3,83	0,41 a ± 0,06	52,8 a ± 1,03
CV (%)	7,29	19,26	25,09	16,59	0,86
P-value	0,0886	0,1497	0,018*	0,0022**	<0,001**

Nota: Letras diferentes na coluna indicam diferença significativa pelo teste T de Student. ^{NS}: Não Significativo; *Significativo ao Nível de 5%; **Significativo ao Nível de 1%; CV: coeficiente de variação.

No Pará, os resultados demonstraram que, apesar de o comprimento de raiz e o stand de plantas não apresentarem diferenças significativas, houve incremento de 38,7% no número de nódulos (de 11,9 para 16,5), 41,4% no peso de nódulos (de 0,29 g para 0,41 g) e 2,3% na produtividade (de 51,6 para 52,8 sc/ha) com a aplicação conjunta do inoculante e do carbono orgânico. Esse padrão de resposta sugere que os efeitos do carbono foram mais relevantes para a atividade simbiótica microbiana do que para o crescimento estrutural das raízes.

Em regiões de alta umidade, como no sudeste do Pará, a atividade microbiana nativa é naturalmente elevada, e a adição de carbono pode atuar como fator seletivo e intensificador das funções metabólicas específicas dos microrganismos inoculados, sobretudo na formação de nódulos e produção de exopolissacarídeos (SONG et al., 2023; NARAYANAN et al., 2024; GONZÁLEZ-CORIA et al., 2025; RIEDER; CONEN; KRAUSS, 2025).

Mesmo com aumentos modestos na produtividade, o efeito positivo sobre a nodulação é relevante do ponto de vista agrônomo e ecológico, pois indica maior eficiência no uso do nitrogênio atmosférico, reduzindo a dependência de fertilizantes

sintéticos. Além disso, a maior biomassa nodular observada pode ter implicado em maior fluxo de assimilados entre planta e microrganismo, o que se traduz em benefícios fisiológicos cumulativos ao longo do ciclo da cultura (SANSINENEA, 2019; JATUWONG et al., 2025).

No Maranhão, o stand de plantas de soja não foi influenciado pelo uso do inoculante associando ou não ao carbono orgânico ($P>0,05$) (Tabela 03). Contudo, para as variáveis comprimento de raiz ($P<0,05$), número de nódulos ($P<0,05$), peso dos nódulos e produtividade ($P<0,01$) houve diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 03. Stand de plantas, comprimento de raiz (CR), número de nódulos por planta (NNP), peso de nódulos e produtividade da soja inoculada com *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus subtilis* e *Priestia megaterium* associada ou não ao uso de carbono orgânico no estado do Maranhão

C.O.	Stand	CR Cm	NNP	PN g	Produtividade Sc/ha
Sem	12,8 ± 0,78	28,52 b ± 4,52	10,0 b ± 1,76	0,31 b ± 0,06	63,0 b ± 1,63
Com	13,4 ± 0,84	35,21 a ± 5,77	14,1 a ± 1,79	0,51 a ± 0,08	68,0 a ± 2,31
CV (%)	7,72	16,95	16,47	19,79	2,28
P-value	0,2172	0,0218*	0,013*	<0,001	<0,001

Nota: Letras diferentes na coluna indicam diferença significativa pelo teste T de Student. ^{NS}: Não Significativo; *Significativo ao Nível de 5%; **Significativo ao Nível de 1%; CV: coeficiente de variação.

No Maranhão, o stand de plantas de soja não foi influenciado pelo uso do inoculante associando ou não ao carbono orgânico ($P>0,05$) (Tabela 03). Contudo, para as variáveis comprimento de raiz ($P<0,05$), número de nódulos ($P<0,05$), peso dos nódulos e produtividade ($P<0,01$) houve diferença significativa entre os tratamentos.

No Maranhão, a resposta ao tratamento combinado foi ainda mais expressiva, com aumento de 23,5% no comprimento de raiz (de 28,52 cm para 35,21 cm), 41% no número de nódulos (de 10,0 para 14,1), 64,5% no peso de nódulos (de 0,31 g para 0,51 g) e 7,9% na produtividade (de 63,0 para 68,0 sc/ha). Esses resultados indicam um efeito sinérgico entre o inoculante e o carbono orgânico, refletindo tanto na morfologia radicular quanto na eficiência simbiótica e no rendimento final da cultura. O maior desenvolvimento radicular amplia o volume de solo explorado pelas raízes, aumentando a absorção de água e nutrientes, enquanto a nodulação intensificada eleva o aporte de nitrogênio fixado biologicamente (PELLEGRINO et al., 2022; JATUWONG et al.,

2025).

A expressiva resposta no Maranhão pode estar relacionada a uma combinação de fatores: maior responsividade da cultivar utilizada (Maracaí), condições edafoclimáticas mais favoráveis ao crescimento de microrganismos aeróbios, e possível maior capacidade tampão do solo, o que favorece a estabilidade do pH rizosférico durante o processo de decomposição do carbono orgânico. Além disso, a maior presença de matéria orgânica no solo pode ter potencializado a retenção de água e nutrientes, facilitando a ação dos bioinsumos aplicados (SANSINENEA, 2019; JATUWONG et al., 2025).

A análise integrada dos três ambientes avaliados confirma que a resposta positiva da soja ao uso combinado de microrganismos e carbono orgânico é consistente, embora modulada pelas características locais de solo, clima e manejo. Os efeitos observados validam o uso de carbono como catalisador microbiológico, promovendo a ativação metabólica de bactérias benéficas, como *Bacillus* e *Priestia*, que atuam na solubilização de fósforo, síntese de fitormônios e proteção contra estresses bióticos. Contudo, é necessário cautela quanto à dosagem e forma de aplicação do carbono orgânico, pois excessos podem resultar em competição por nutrientes, alterações na comunidade microbiana nativa ou acidificação do solo (PELLEGRINO et al., 2022; GONZÁLEZ-CORIA et al., 2025; RIEDER; CONEN; KRAUSS, 2025).

Esses resultados demonstram o potencial do uso integrado de bioinsumos e carbono orgânico como ferramenta para aumentar a sustentabilidade dos sistemas produtivos, promovendo maior eficiência no uso de recursos naturais e redução da dependência de fertilizantes químicos. Tal abordagem alinha-se com os princípios da agricultura regenerativa e da bioeconomia, com benefícios agronômicos, econômicos e ambientais. O uso racional dessas tecnologias pode representar um avanço significativo na construção de agroecossistemas mais resilientes e produtivos, especialmente em regiões tropicais como as analisadas neste estudo.

3.4 Conclusões

A associação entre microrganismos promotores de crescimento e carbono orgânico proporcionou ganhos consistentes no desenvolvimento radicular, na nodulação e na produtividade da soja, nas lavouras comerciais dos três estados avaliados, com variações de magnitude conforme as condições edafoclimáticas de cada local.

A aplicação de carbono orgânico foi determinante para intensificar a atividade microbiana e a eficiência da fixação biológica de nitrogênio, resultando em maior biomassa nodular e melhoria nos atributos fisiológicos das plantas.

Os resultados confirmam que o uso integrado de bioinsumos com fontes de carbono lábil é uma prática tecnicamente recomendada para promover a eficiência biológica do solo, com benefícios potenciais para a produtividade e a redução da dependência de fertilizantes sintéticos.

3.5 Referências

- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira:** grãos, sexto levantamento, junho 2024. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253>. Acesso em: 18 de agosto de 2025.
- CROPLIFE. **Cresce a adoção de produtos biológicos pelos agricultores brasileiros.** 2021. Disponível em: croplifebrasil.org/cresce-a-adocao-de-produtos-biologicos-pelos-agricultores-brasileiros/ Acesso em: 20/08/2025.
- MANDARINO, J. M .G., Origem e história da soja no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, **38: 1357-1363**, 2017.
- MEYER, M. C., BUENO, A. F., BIOTROP SOLUÇÕES BIOLÓGICAS E PARTICIPAÇÕES LTDA.. **Bioinsumos na cultura da soja.** Embrapa soja, 2022.
- METEORED. *Tempo em Caseara - Tocantins, Brasil.* Disponível em: https://www.meteored.com.ve/tiempo-en_Caseara-America%2BSur-Brasil-Tocantins--1-502140.html. Acesso em: 28 ago. 2025.
- MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 626 p.
- PEIXOTO, C. P.; CÂMARA, G. M. S.; MARTINS, M. C.; MARCHIORI, L. F. S.; GUERZONI, R. A.; MATTIAZZI, P. Épocas de semeadura e densidade de plantas de soja: I. Componentes da produção e rendimento de grãos. **Scientia Agricola**, v. **57**, n. **1**, p. **89-96**, 2000.
- KUZYAKOV, Y.; FRIEDEL, J. K.; STAHR, K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. **Soil Biology and Biochemistry**, v. **32**, p. **1485-1498**, 2000.
- SIX, J.; FREY, S. D.; THIET, R. K.; BATTERSBY, M. N. Stabilization mechanisms of

soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil*, v. 241, p. 155-176, 2002.

GONZÁLEZ-CORIA, Johana et al. Early-stage effects of carbon-rich soil amendments stimulate retention-related nitrogen genes while maintaining nitrogen and yield levels. *Soil and Tillage Research*, v. 254, 106729, dez. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2025.106729>. Acesso em: 9 set. 2025.

JATUWONG, Kritsana et al. A Review of Biochar from Biomass and Its Interaction with Microbes: Enhancing Soil Quality and Crop Yield in *Brassica* Cultivation. *Life*, Basel, v. 15, n. 2, p. 284, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/life15020284>. Acesso em: 9 set. 2025.

NARAYANAN, Mathiyazhagan et al. Sustainable strategies for enhancing soil carbon sequestration and their beneficial impacts on soil fertility: A comprehensive review. *Applied Soil Ecology*, v. 204, 105752, dez. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105752>. Acesso em: 9 set. 2025.

PELLEGRINO, Elisa; PIAZZA, Gaia; HELGASON, Thorunn; ERCOLI, Laura. Microbiome structure and interconnection in soil aggregates across conservation and conventional agricultural practices allow to identify main prokaryotic and fungal taxa related to soil functioning. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 175, 108833, dez. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108833>. Acesso em: 9 set. 2025.

RIEDER, Sebastian; CONEN, Franz; KRAUSS, Maïke. Microbial inoculant has little effect on greenhouse gas emissions following cover crop incorporation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 379, 109332, 28 fev. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109332>. Acesso em: 9 set. 2025.

SANSINENEA, Estibaliz. *Bacillus* spp.: As Plant Growth-Promoting Bacteria. In: SANSINENEA, Estibaliz (ed.). *Secondary Metabolites of Plant Growth-Promoting Rhizomicroorganisms*. Singapore: Springer Nature, 2019. cap. 11. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-13-5862-3_11. Acesso em: 9 set. 2025.

SONG, Mengyuan; LI, Jiafan; GAO, Lihong; TIAN, Yongqiang. Comprehensive evaluation of effects of various carbon-rich amendments on overall soil quality and crop productivity in degraded soils. *Geoderma*, v. 436, 116529, ago. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116529>. Acesso em: 9 set. 2025.

TELLES, Tiago Santos; NOGUEIRA, Marco Antonio; HUNGRIA, Mariangela. Economic value of biological nitrogen fixation in soybean crops in Brazil. *Environmental Technology & Innovation*, v. 31, 103158, ago. 2023. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103158>. Acesso em: 9 set. 2025.

YANG, Tinghui; LI, Xiaojuan; HU, Bin; WEI, Dandan; WANG, Zilong; BAO, Weikai. Soil microbial biomass and community composition along a latitudinal gradient in the arid valleys of southwest China. *Geoderma*, v. 413, 115750, 1 maio 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115750>. Acesso em: 9 set. 2025.

ZOU, Qianmei et al. The synergistic interaction effect between biochar and plant growth-promoting rhizobacteria on beneficial microbial communities in soil. *Frontiers in Plant Science*, v. 15, 1501400, 18 dez. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1501400>. Acesso em: 9 set. 2025.

ANGRAENI, F. et al. **Pemanfaatan pupuk organik cair rebung bambu untuk pertumbuhan kangkung secara hidroponik**. Palopo: Faculdade de Agricultura, Universitas Cokroaminoto Palopo, 2018.

BACHTIAR, B.; AHMAD, A. H. **Analisis kandungan hara kompos johan Cassia siamea dengan penambahan aktivator promi**. *Bioma: Jurnal Biologi Makassar*, Makassar, v. 4, n. 1, p. 68–76, 2019. DOI: <https://doi.org/10.20956/bioma.v4i1.6493>.

CAHYANI, N. C.; NURAINI, Y.; PRATOMO, G. A. **The potential use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and various planting media on population of soil microorganisms and growth and yield of potato**. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, [S.l.], v. 5, n. 2, p. 887–889, 2018.

CAHYONO, R. N. **Pemanfaatan daun kelor dan bonggol pisang sebagai pupuk organik cair untuk pertumbuhan tanaman bayam (Amaranthus sp.)**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, 2016.

CESARIA, R. Y.; WIROSOEDARMO, R.; SUHARTO, B. **Pengaruh penggunaan starter terhadap kualitas fermentasi limbah cair tapioka sebagai alternatif pupuk cair**. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, [S.l.], v. 2, n. 2, p. 7–14, 2012.

CHOLIQ, F. A.; MINTARTO, M.; SAFIRA, C. J. **Aplikasi Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) terhadap infeksi Chrysanthemum mild mottle virus (CMMV) dan produksi tanaman krisan (Chrysanthemum sp.)**. *Agroradix*, [S.l.], v. 3, n. 2, p. 31–49, 2020. DOI: <https://doi.org/10.52166/agroteknologi.v3i2.1952>.

FITRI, N. F. M.; OKALIA, D.; NOPSAGIARTI, T. **Uji konsentrasi PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteri) asal akar bambu dalam meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman jagung (*Zea mays* L.) pada tanah ultisol.** *Jurnal Green Swarnadwipa*, [S.l.], v. 9, n. 2, p. 285–293, 2020.

LAGINDA, I. **Komposisi kimia batang pisang sebagai bahan pupuk organik cair.** Gorontalo: Universidade Negeri de Gorontalo, 2017.

MAROM, N.; RIZAL, F.; BINTORO, M. **Uji efektivitas saat pemberian dan konsentrasi PGPR terhadap produksi dan mutu benih kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.).** *Agriprima: Journal of Applied Agricultural Sciences*, [S.l.], v. 1, n. 2, p. 174–184, 2017. DOI: <https://doi.org/10.25047/agriprima.v1i2.43>.

MULYAWAN, R. et al. **Uji aktivitas lakase dan selulase pada lignoselulosa gambut dengan berbagai kadar air.** *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, [S.l.], v. 24, n. 1, p. 20–27, 2019. DOI: <https://doi.org/10.18343/jipi.24.1.20>.

NUR, A. A.; PRIYADARSHINI, R.; PURWADI. **The effectiveness of Plant Growth Promoting Rhizobacteria and Liquid Organic Fertilizer on Soybean (*Glycine max* L.) production.** *Bioeduscience*, Jakarta, v. 8, n. 2, p. 244–250, 2024. DOI: <https://doi.org/10.22236/jbes/14587>.

SITANGGANG, Y. et al. **Pembuatan pupuk organik cair (LOF) berbahan baku limbah sayuran/buah di Lingkungan I, Kelurahan Namo Gajah, Kecamatan Medan Tuntungan.** Medan: Seminário Técnico de Extensão Rural, ago. 2022.

Glossário

Carbono orgânico (C-orgânico): Indicador da matéria orgânica presente no solo, essencial para a melhoria da estrutura, retenção de água, fertilidade e estímulo à atividade microbológica.

Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC): Modelo estatístico experimental em que os tratamentos são distribuídos de forma aleatória entre as unidades experimentais, comum em ensaios agrícolas controlados.

Fertilizante orgânico líquido (LOF): Solução obtida por fermentação de resíduos orgânicos vegetais ou animais, rica em nutrientes solúveis e compostos bioativos, aplicável principalmente via foliar.

Fósforo (P): Macronutriente essencial envolvido na divisão celular, formação de raízes, maturação de frutos, transporte de energia (ATP) e desenvolvimento de sementes.

Nitrogênio total (N): Quantidade total de nitrogênio presente no solo, incluindo formas orgânicas e inorgânicas, fundamental para a síntese de proteínas, enzimas e ácidos nucleicos nas plantas.

PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria): Bactérias benéficas que habitam a rizosfera das plantas e promovem seu crescimento por meio de mecanismos como fixação de nitrogênio, solubilização de fósforo, produção de hormônios vegetais e controle biológico de patógenos.

Potássio (K): Nutriente essencial que regula o equilíbrio hídrico nas plantas, participa da síntese de proteínas e carboidratos, fortalece os tecidos vegetais e melhora a qualidade dos frutos e sementes.

4. Conclusão Geral

A revisão dos dados experimentais e a análise dos resultados obtidos evidenciam que a aplicação conjunta de microrganismos promotores de crescimento (PGPR) e fontes de carbono orgânico, incluindo fertilizantes orgânicos líquidos derivados de resíduos vegetais locais, constitui uma estratégia promissora para o cultivo sustentável da soja. A integração desses bioinsumos proporcionou ganhos consistentes no desenvolvimento radicular, na nodulação e na absorção de nutrientes, além de incrementos na altura das plantas, no número de vagens e na melhoria dos atributos químicos do solo, com destaque para o aumento nos teores de nitrogênio, fósforo, potássio e carbono orgânico.

O efeito sinérgico observado resulta da complementaridade entre microrganismos produtores de enzimas e hormônios e compostos orgânicos ricos em macro e micronutrientes, os quais intensificam a atividade microbiana e a eficiência da fixação biológica de nitrogênio. Embora os ganhos de produtividade tenham variado conforme as condições edafoclimáticas, a estratégia demonstrou viabilidade agrônômica e potencial para contribuir com a sustentabilidade do sistema produtivo, em especial em áreas sob plantio direto.

Além dos benefícios produtivos, a utilização de resíduos vegetais fermentados e insumos locais de baixo custo reforça a valorização de recursos regionais e a redução da dependência de fertilizantes sintéticos, em consonância com os princípios da agroecologia e da agricultura regenerativa. A variação nas respostas entre ambientes e variedades de soja, contudo, ressalta a importância da adaptação técnica da tecnologia às condições locais, bem como da realização de estudos adicionais sobre a viabilidade econômica e a aplicabilidade em diferentes contextos da agricultura tropical.

Assim, confirma-se que o uso integrado de microrganismos promotores de crescimento e carbono orgânico é uma prática tecnicamente recomendada e ambientalmente responsável, capaz de contribuir para sistemas agrícolas mais eficientes, resilientes e sustentáveis.