



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS LAGOA DA CONFUSÃO
CURSO SUPERIOR EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA

SÁVIO PEREIRA DE SOUSA

DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DA SOJA VIA INOCULAÇÃO COM
BACILLUS SUBTILIS, BACILLUS MEGATERIUM E BRADYRHIZOBIUM
JAPONICUM

Lagoa da Confusão - TO

2025

SÁVIO PEREIRA DE SOUSA

**DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DA SOJA VIA INOCULAÇÃO COM
BACILLUS SUBTILIS, *BACILLUS MEGATERIUM* E *BRADYRHIZOBIUM JAPONICUM***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Agrônômica da Unidade *Campus*
Lagoa da Confusão do Instituto Federal do
Tocantins, como exigência à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Dr. Juliano Magalhães Barbosa

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

S725d Sousa, Sávio Pereira de
 DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DA SOJA VIA
 INOCULAÇÃO COM *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* E
 Bradyrhizobium japonicum / Sávio Pereira de Sousa. – Lagoa da Confusão,
 TO, 2025.
 31 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Agrônoma) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Lagoa da Confusão, Lagoa da Confusão, TO, 2025.

Orientador: Dr. Juliano Magalhães Barbosa

1. Microrganismos. 2. Biológicos. I. Magalhães Barbosa, Juliano. II.
Título.

CDD 630

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e
pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a)
autor(a).



Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
Reitoria
Campus Lagoa da Confusão
Coordenação do Curso Superior em Engenharia Agrônômica

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DA SOJA VIA INOCULAÇÃO COM *BACILLUS SUBTILIS*, *BACILLUS MEGATERIUM* E *BRADYRHIZOBIUM JAPONICUM*"

AUTOR (A): **Sávio Pereira de Sousa**

ORIENTADOR (A): **Juliano Magalhães Barbosa**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, *Campus* Lagoa da Confusão, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica.

Aprovado em 27 de junho de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Juliano Magalhães Barbosa
Orientador
IFTO/Campus Lagoa da Confusão

Prof. Dr. Reinaldo Ferreira Medeiros
Membro
IFTO/Campus Lagoa da Confusão

Eng. Agron. Lucas Magalhães Rocha
Membro
LAVORO/Araguaína



Documento assinado eletronicamente por **Juliano Magalhães Barbosa, Servidor**, em 07/07/2025, às 00:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **LUCAS MAGALHAES ROCHA, Usuário Externo**, em 07/07/2025, às 07:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Reinaldo Ferreira Medeiros, Servidor**, em 07/07/2025, às 13:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.iftto.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2818147** e o código CRC **8A8261B6**.

Rua 02, Quadra 05A, Lote 01, Setor Lagoa da Ilha — CEP 77.493-000 — Lagoa da Confusão/TO portal.iftto.edu.br — reitoria@iftto.edu.br

Referência: Processo nº 23235.013801/2025-43

SEI nº 2818147

AGRADECIMENTOS

Agradeço a quem me abençoou com a vida, a coragem e a educação para trilhar esse caminho arduo mas gratificante: mãe e pai, vocês são fonte de inspiração para toda a minha vida. Sem os seus ensinamentos, eu não seria capaz de construir o que venho construindo, vocês são os responsáveis por essa conquista.

Agradeço ao meu orientador, prof. Dr. Juliano Magalhães Barbosa, por todo suporte e paciência ao longo deste TCC e, por ter aceitado esta orientação.

Agradeço a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho, vocês foram essenciais.

Meu muito obrigado a todos!

RESUMO

A soja (*Glycine max*) é uma leguminosa de elevada importância agrícola, nutricional e econômica, figurando entre as principais culturas cultivadas globalmente. No cenário internacional, o Brasil destaca-se como um dos maiores produtores e exportadores dessa oleaginosa, desempenhando papel fundamental na balança comercial do país. Apesar de seu expressivo potencial produtivo, o cultivo da soja está sujeito a diversos fatores limitantes, especialmente os estresses bióticos, como pragas e doenças, e os abióticos, como a deficiência hídrica, a baixa fertilidade do solo e o estresse térmico. Tais condições afetam negativamente o desenvolvimento morfológico e fisiológico das plantas, impactando diretamente a produtividade da cultura. Nesse contexto, estratégias sustentáveis vêm sendo amplamente estudadas com o objetivo de aumentar a eficiência do cultivo e reduzir os impactos ambientais da agricultura convencional. Dentre essas estratégias, destaca-se o uso de microrganismos promotores de crescimento vegetal (MPCVs), como bactérias dos gêneros *Bacillus* e *Bradyrhizobium*. Esses microrganismos apresentam potencial para melhorar a absorção de nutrientes, estimular o crescimento radicular, aumentar a nodulação simbiótica, favorecer o acúmulo de biomassa, intensificar processos fisiológicos essenciais e conferir maior tolerância das plantas a condições adversas de cultivo, contribuindo para sistemas agrícolas mais resilientes e sustentáveis. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos da aplicação isolada ou consorciada de *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* e *Bradyrhizobium japonicum* sobre o desenvolvimento e a produtividade de plantas de soja. O experimento será conduzido em delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições e oito tratamentos, incluindo uma testemunha sem inoculação. Serão avaliadas variáveis como germinação, emergência, altura de plantas, massa seca da parte aérea e radicular, massa seca total, peso dos nódulos, eficiência relativa da nodulação e peso de mil grãos. Espera-se que a inoculação promova benefícios fisiológicos e agrônômicos significativos, refletindo em maior vigor, estabilidade produtiva e rendimento final da cultura da soja.

Palavras-chave: bactérias; inoculantes; *Glycine max*.

ABSTRACT

Soybean (*Glycine max*) is a legume of great agricultural, nutritional, and economic importance, ranking among the main crops cultivated globally. Internationally, Brazil stands out as one of the largest producers and exporters of this oilseed, playing a key role in the country's trade balance. Despite its significant production potential, soybean cultivation is subject to several limiting factors, especially biotic stresses, such as pests and diseases, and abiotic stresses, such as water deficiency, low soil fertility, and heat stress. These conditions negatively affect the morphological and physiological development of plants, directly impacting crop productivity. In this context, sustainable strategies have been widely studied to increase cultivation efficiency and reduce the environmental impacts of conventional agriculture. Among these strategies, the use of plant growth-promoting microorganisms (PGMs), such as bacteria of the genera *Bacillus* and *Bradyrhizobium*, stands out. These microorganisms have the potential to improve nutrient uptake, stimulate root growth, increase symbiotic nodulation, promote biomass accumulation, intensify essential physiological processes, and increase plant tolerance to adverse growing conditions, contributing to more resilient and sustainable agricultural systems. Therefore, this study aims to evaluate the effects of the isolated or combined application of *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium*, and *Bradyrhizobium japonicum* on the development and productivity of soybean plants. The experiment will be conducted in a randomized complete block design, with four replicates and eight treatments, including a control without inoculation. Variables such as germination, emergence, plant height, shoot and root dry matter, total dry matter, nodule weight, relative nodulation efficiency, and thousand-grain weight will be evaluated. Inoculation is expected to promote significant physiological and agronomic benefits, resulting in increased vigor, productive stability, and final yield of the soybean crop.

Key words: bacteria; inoculants; *Glycine max*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Detalhes da morfologia de uma plântula de soja	15
Figura 2 – Fenologia da soja	16
Figura 3 – Resistência sistêmica induzida por bactérias <i>Bacillus subtilis</i>	18
Figura 4 – Regiões Fitoecológicas em Campos Lindos	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estádios fenológicos da cultura da soja	16
Tabela 2 – Tratamentos a serem utilizados	21
Tabela 3 - Cronograma das atividades	23
Tabela 4 – Orçamento do projeto	24

LISTA DE ABREVIATURAS

DAE	Dias após a emergência
DAS	Dias após a semeadura
ER	Eficiência relativa
FBN	Fixação Biológica de Nitrogênio
MSN	Massa seca dos nódulos
MSPA	Massa seca da parte aérea
MSR	Massa seca da raiz
MST	Massa seca total
PMG	Peso de mil grãos
t	Toneladas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVO	14
2.1	Objetivo geral	14
2.2	Objetivos específicos	14
3	REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1	Cultura da soja	15
3.2	Bactérias	17
3.2.1	Bacillus subtilis	17
3.2.2	Bacillus megaterium	19
3.2.3	Bradyrhizobium japonicum	19
4	MATERIAL E MÉTODOS	20
5	CRONOGRAMA	23
6	ORÇAMENTO	24
7	RESULTADOS ESPERADOS	25
	REFERÊNCIAS	26

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*) é uma planta leguminosa pertencente à família Fabaceae, com alta importância econômica, especialmente por sua versatilidade na indústria de rações, alimentos, óleos de cozinha, proteínas, fibras, plásticos, vernizes e biodiesel (Luthria *et al.*, 2018; Gaonkar & Rosentrater, 2019), sendo o Brasil considerado o maior produtor dessa oleaginosa, com uma produção de 152.144.238 t em 2023 (IBGE, 2023) e estimativa de 167.869,8 mil t na safra 2024/25 (Conab, 2025). Além disso, a soja é uma fonte de nutrientes minerais e metabólitos secundários, tornando um alimento importante para a saúde humana (Hailemariam *et al.*, 2021).

O desenvolvimento e a produtividade de plantas de soja é fortemente influenciado por fatores bióticos e abióticos e, dentre eles, os nutrientes são um dos principais fatores essenciais para o rendimento de grãos, apesar da grande parte dos solos brasileiros apresentarem deficiência em nutrientes (Santin *et al.*, 2024). Assim, a utilização de microrganismos solubilizadores de nutrientes se encontra como uma ferramenta crucial na agricultura, os quais estabelecem associação com as plantas e ajudam na disponibilidade de nutrientes retidos no solo (Santin *et al.*, 2024). Entre os microrganismos de destaque, se encontra o gênero *Bacillus*, como *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* (Oliveira-Paiva *et al.*, 2024) e o gênero *Bradyrhizobium*, o qual atua como promotor de crescimento, ajudando na disponibilidade de nutrientes para a planta através da fixação biológica de nitrogênio – FBN (Gao *et al.*, 2020).

As bactérias *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* se destacam por sua capacidade de solubilizar nutrientes essenciais para o crescimento, desenvolvimento e resposta na produtividade das plantas de soja, os quais na maioria das vezes estão presentes no solo de forma insolúvel, dificultando a absorção pelas raízes (Silvestrini *et al.*, 2023). Por outro lado, bactérias como *Bradyrhizobium* ao se estabelecerem de forma simbiótica com as raízes, formam nódulos que convertem o nitrogênio atmosférico em amônia, tornando possível a absorção pela planta (Pankievicz *et al.*, 2019; Sarao *et al.*, 2024). Em síntese, bactérias como *Bacillus* e *Bradyrhizobium* representa uma estratégia biológica eficiente e sustentável, reduzindo a dependência de insumos químicos e promovendo a saúde do solo.

Essa pesquisa propõe a elucidar a importância dessas bactérias para a cultura da soja, demonstrando o potencial desses microrganismos como ferramentas biológicas cruciais para otimizar o desenvolvimento e a produtividade da cultura ao mesmo tempo em que contribui para práticas agrícolas mais sustentáveis.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Avaliar como a aplicação isolada ou em conjunto de *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* e *Bradyrhizobium japonicum*, afeta a produtividade e o desenvolvimento de plantas de soja.

2.1 Objetivos específicos

- ✓ Analisar o impacto dos diferentes tratamentos de inoculação sobre o crescimento inicial da soja;
- ✓ Comparar os tratamentos quanto à massa seca total das plantas e à eficiência relativa dos inoculantes no desenvolvimento vegetal;
- ✓ Avaliar o impacto da inoculação na produtividade da soja, por meio da análise do peso de mil grãos.

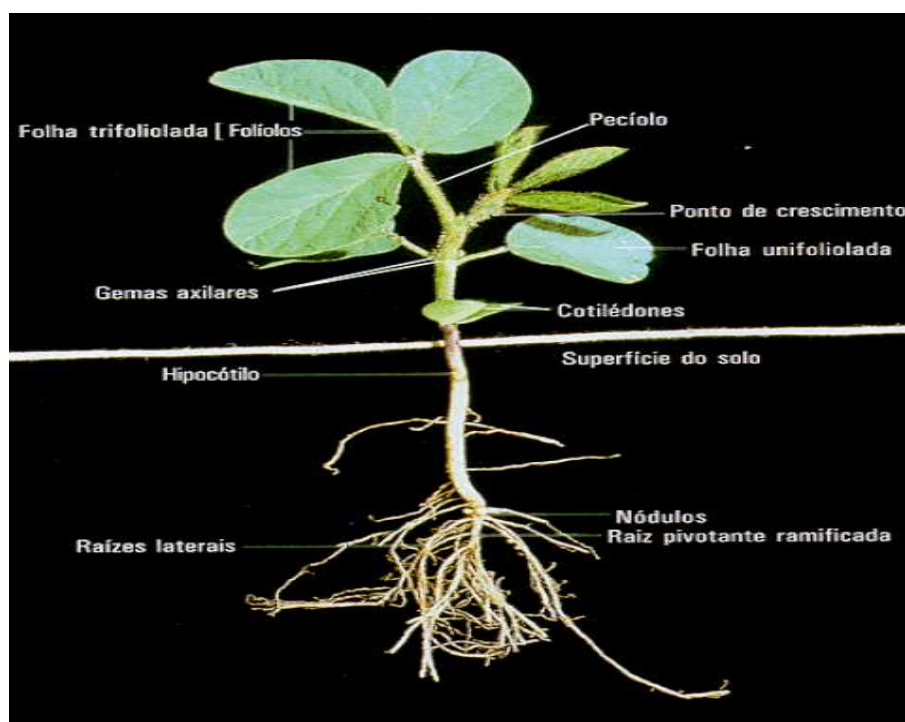
3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Cultura da soja

A soja (*Glycine max*), é uma planta oleaginosa e dicotiledônea, sendo pertencente à família Fabaceae, subfamília Papilionoideae, gênero *Glycine*, espécie *Glycine max* e classificada de forma taxonômica por *Glycine max* (L.) Merrill (Pereira *et al.*, 2018). Originária do nordeste da China, a soja chegou ao Brasil no final do século XIX, com diversas cultivares trazidas diretamente dos Estados Unidos com o objetivo de utilizá-la como planta forrageira, particularmente na alimentação animal (Colonelli, 2021).

Mundialmente, a soja é uma cultura de alta importância, apresentando derivados altamente utilizados pelas indústrias, tanto para óleo vegetal quanto rações para alimentação animal, além de ser utilizado na indústria química e alimentícia, sendo os grãos dessa cultura uma ótima fonte de proteína, com teores variando de 35% a 40%, representando um produto indispensável para compor rações animal (Colonelli, 2021). Ainda, a produção de óleo por meio dos grãos da soja é destaque na economia do país, com variação nos teores entre 20% a 24% (Lorini, 2017). Na Figura 1, se observa algumas características de uma plântula de soja.

Figura 1 – Detalhes da morfologia de uma plântula de soja.



Fonte: IPNI (2020).

Com o melhoramento genético na década de 1980, cultivares de ciclo juvenil longo e florescimento lento impulsionaram a produção de soja para além da região Sul do Brasil,

resultando em melhores rendimentos (Gazonni, 2018). Atualmente, o Brasil apresenta a segunda maior média de produtividade de soja do mundo, com cerca de 3.379 kg ha⁻¹, superando a média mundial de 2.880 kg ha⁻¹ (Colonelli, 2021). Dados atuais da safra 2024/25 apontam uma produtividade do Brasil em 3.533 kg/ha, em uma área cultivada de 47.515,7 mil ha (Conab, 2025). Apesar da sua enorme importância para a economia, a cultura da soja está sujeita a diversas condições que podem impactar tanto o metabolismo da planta quanto as atividades agrícolas (Sentelha & Monteiro, 2009). Nesse sentido, conhecer os estádios fenológicos da cultura (Tabela 1), é importante, afim de realizar um manejo mais adequado na época correta.

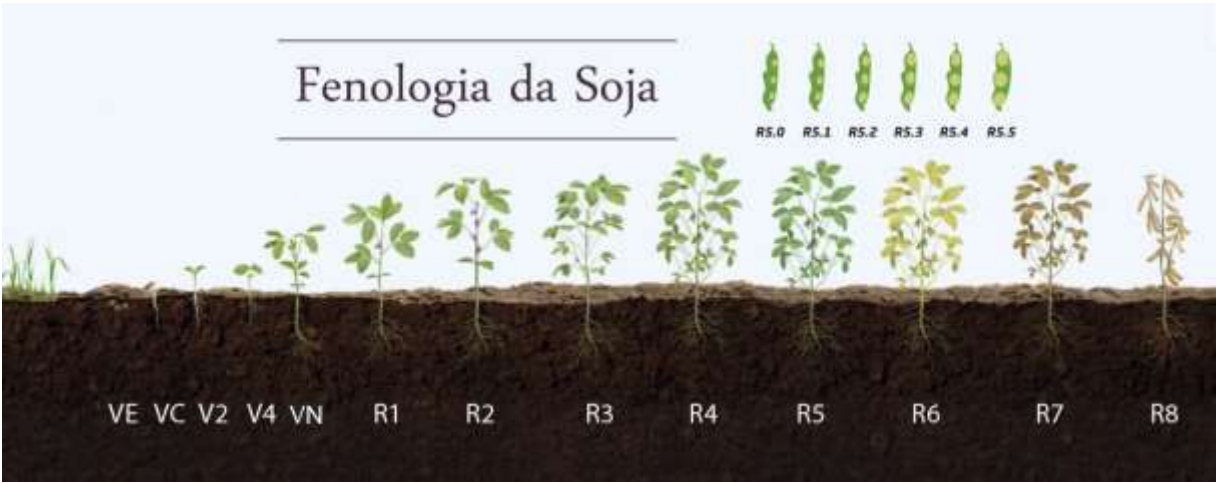
Tabela 1 – Estádios fenológicos da cultura da soja.

Estádio Vegetativo	Estádio Reprodutivo
VE – Emergência	R1 – Início do florescimento
VC – Cotilédones	R2 – Pleno florescimento
V1 – Primeiro nó maduro	R3 – Início formação das vagens (canivetinho)
V2 – Segundo nó maduro	R4 – Plena formação das vagens (canivete)
V3 – Terceiro nó maduro	R5 – Início enchimento dos grãos
...	R5.1 – 10% de enchimento
	R5.2 – de 11 – 25% de enchimento
	R5.3 – de 26 – 50% de enchimento
	R5.4 – de 51 – 75% de enchimento
	R5.5 – mais de 76% de enchimento
	R6 – Pleno enchimento dos grãos
	R7 – Início da maturação
Vn – Enésimo nó maduro	R8 – Maturação plena

V1 – Par de folhas opostas completamente desenvolvidos e a primeira folha trifoliolada (acima) com os bordos de cada folíolo não mais se tocando. V2 – Primeira folha trifoliolada já conta com seus folíolos completamente expandidos, sendo que a segunda folha trifoliolada está aberta, com os bordos de cada folíolo não mais se tocando. Fonte: Adaptado de IPNI (2020).

Na Figura 2, se observa a ilustração das plantas de soja em relação aos distintos estádios.

Figura 2 – Fenologia da soja.



Fonte: Coopertradição (2025).

Entretanto, o Brasil pode ainda mais alcançar elevados rendimentos de produtividade média e resolver alguns entraves de rendimento, que se relacionam especialmente a fatores bióticos e abióticos (Van Ittersum *et al.*, 2013). Com isso, sabendo a importância dessa cultura para o país e para o mundo, é necessário a compreensão dos fatores limitantes de sua produtividade, buscando ferramentas e soluções para alavancar o setor produtivo dessa commodity. Entre esses fatores, destacam-se as interações da planta com microrganismos como o *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* e *Bradyrhizobium* que será abordado no próximo tópico, e seu papel na promoção do crescimento e produtividade da soja.

3.2 Bactérias

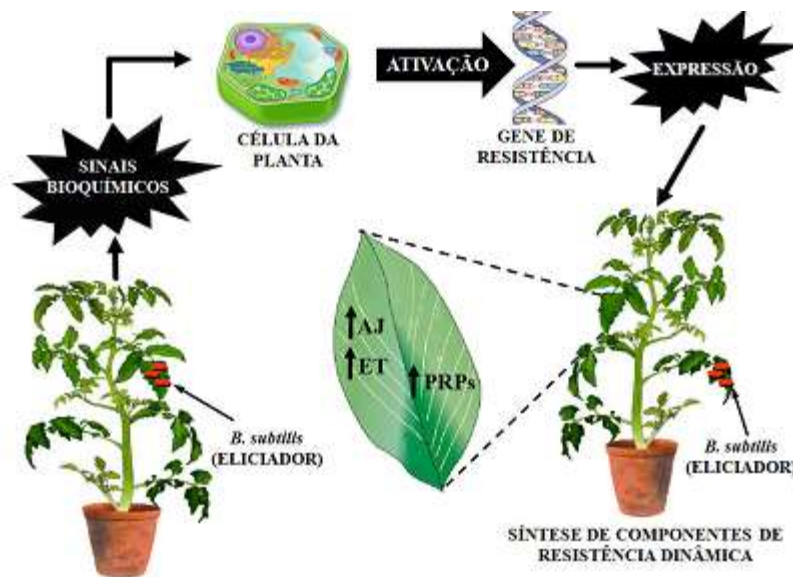
3.2.1 *Bacillus subtilis*

Diversos microrganismos como bactérias possuem capacidade de promover o crescimento das plantas, sendo já relatado em pesquisas científicas a sua influência, os quais são considerados como rizobactérias promotoras de crescimento das plantas, atuando com mecanismos diretos e indiretos no vegetal (Hashem *et al.*, 2019). Entre os gêneros de destaque, se encontram o *Bacillus*, capaz de formar esporos de longa duração, tolerantes a estresses bióticos e abióticos e, ajudam as plantas prevenção de infecção por patógenos (Radhakrishnan *et al.*, 2017). Dessa, a utilização de microrganismos à rizosfera é tida como uma abordagem de melhoria para o crescimento e desenvolvimento vegetal.

O *Bacillus subtilis*, por sua vez, colonizam as raízes das plantas fornecendo nutrientes, estimulando o seu crescimento e protegendo-a contra diferentes estresses (Hashem *et al.*, 2019). O contato com o tecido vegetal desencadeia diferentes sinais bioquímicos nas células da planta, estimulando o aumento na concentração de fitormônios importantes na defesa, como o ácido jasmônico (AJ) e o etileno (ET), o qual, posteriormente, genes de defesa são ativados e produzem proteínas relacionadas à patogênese, fortalecendo a capacidade da planta de se defender contra patógenos de maneira sistêmica (Lanna Filho *et al.*, 2010).

Na Figura 3, se observa esse tipo de microrganismo e sua resposta de defesa na planta contra patógenos.

Figura 3 – Resistência sistêmica induzida por bactérias *Bacillus subtilis*.



Fonte: Lanna Filho et al. (2010).

Assim, o uso de *B. subtilis* pode resultar em um aumento eficiente no crescimento das plantas e supressão de patógenos. Esse efeito ocorre pela produção de compostos de defesa nos tecidos da planta (induzindo a resistência sistêmica), pela ação antibiótica direta através da síntese de substâncias antimicrobianas pelos microrganismos benéficos, e pela produção direta de hormônios e outros compostos benéficos por esses microrganismos (Hashem *et al.*, 2019).

Chagas Junior *et al.* (2022), ao investigarem a eficiência de *B. subtilis* como inoculante promotor de crescimento vegetal de soja, utilizando sete isolados, observaram que a sua utilização influenciou no crescimento de plantas, estando relacionado com as características biológicas deste microrganismo, além de sua fácil manutenção em bioformulados, o que ressalta seu potencial para promover o crescimento vegetal.

Em pesquisa realizada por Costa *et al.* (2019), avaliando o efeito de diferentes concentrações de inoculantes a base de rizobactérias *Bacillus subtilis* no desenvolvimento inicial da cultura soja, com posterior estudo do índice Spad de clorofila de folhas, altura de plantas, fitomassa fresca e seca da parte aérea, raízes e volume de raízes, observaram aumento do índice Spad de clorofila das folhas com aumento das doses de *Bacillus subtilis*.

Em estudo conduzido por Oliveira-Paiva *et al.* (2020), analisando a viabilidade técnica e econômica da aplicação do BiomaPhos® (o qual apresenta cepas BRM 119 (*Bacillus megaterium*) e BRM 2084 (*Bacillus subtilis*), no rendimento das culturas do milho e soja em diferentes regiões, observaram que a aplicação do inoculante na dose 100 mL/ha na semente resultou em ganhos significativos de produção nas culturas analisadas.

3.2.2 *Bacillus megaterium*

O *Bacillus megaterium* é uma bactéria gram-positiva amplamente encontrada no solo e na rizosfera de diversas plantas, incluindo a soja, com capacidade de atuar como uma rizobactéria promotora de crescimento de plantas, estabelecendo interações benéficas com as raízes e influenciando positivamente o desenvolvimento das plantas (Guzmán-Moreno *et al.*, 2022). Um dos principais benefícios do *B. megaterium* para as plantas é a sua habilidade em solubilizar o fósforo presente no solo (Wyciszkiewicz *et al.*, 2017).

O fósforo é um nutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, no entanto, muitas vezes se encontra em formas insolúveis que não podem ser facilmente absorvidas pelas raízes e, dessa forma, o *B. megaterium* libera enzimas e ácidos orgânicos que convertem essas formas insolúveis em fosfato solúvel, tornando-o disponível para a absorção pelas plantas, o que pode resultar em um melhor estabelecimento da cultura e maior produtividade, como observado por alguns autores (Wang *et al.*, 2021; Rashid *et al.*, 2022).

Além da solubilização de fósforo, o *B. megaterium* pode influenciar a soja de diversas formas. Zhou *et al.* (2020) ao investigarem a eficácia da cepa Sneb207 de *Bacillus megaterium* contra o nematóide de cisto da soja (*Heterodera glycines*) na soja, observaram indução da resistência sistêmica, sendo um potencial agente de biocontrole para *H. glycines*. Por outro lado, Solanki *et al.* (2023) ao investigarem a resposta das cepas de *Bacillus megaterium* e *Bacillus mucilaginosus* aos atributos de crescimento e absorção de soja, constataram resultados positivos no crescimento, na absorção de NPK pelos grãos e palha e a absorção total pela cultura.

3.2.3 *Bradyrhizobium japonicum*

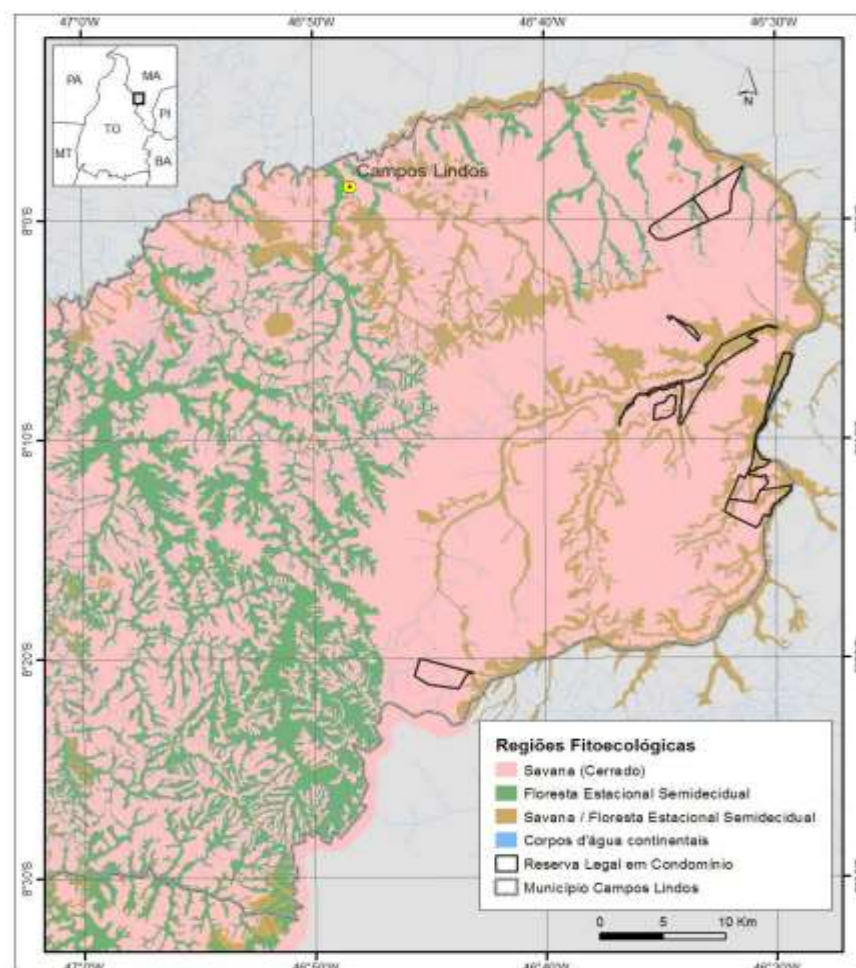
O *Bradyrhizobium japonicum* é uma bactéria do grupo das rizobactérias fixadoras de nitrogênio que estabelece simbiose com leguminosas, sendo especialmente importante na cultura da soja (*Glycine max*). Essa espécie de bactéria é caracterizado por seu crescimento lento e alta eficiência na fixação biológica de nitrogênio (Nakei *et al.*, 2022). Quando associada à soja, *B. japonicum* coloniza as raízes da planta formando nódulos, estruturas especializadas onde ocorre a conversão do nitrogênio atmosférico em formas assimiláveis pelas plantas (Hafiz *et al.*, 2021).

Além disso, a simbiose com essa bactéria melhora o desenvolvimento radicular, aumenta a absorção de nutrientes e potencializa a tolerância da soja a estresses ambientais (Sheteiwy *et al.*, 2021). Assim, a utilização de *B. japonicum* representa uma estratégia biotecnológica essencial para a sustentabilidade e alta produtividade da sojicultura moderna.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio será conduzido no ano agrícola 2025/2025 na região Serra do Centro, município de Campos Lindos, Estado do Tocantins. Na Figura 4, observa-se o tipo de vegetação que pode ser encontrado na região do estudo.

Figura 4 – Regiões Fitoecológicas em Campos Lindos.



Fonte: Seplan-TO (2013).

Será utilizado um delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições em um total de 8 tratamentos, incluindo uma testemunha sem aplicação do microrganismo. As unidades experimentais serão compostas de seis linhas de soja espaçadas em 0,5 m, com 5,00 m de comprimento, ocupando uma área total de 400 m². Os microrganismos serão aplicados via tratamento de sementes, no momento do plantio, conforme descrição dos tratamentos utilizados (Tabela 2).

Tabela 2 – Tratamentos a serem utilizados. Campos Lindos-TO, 2025.

Tratamento	Descrição
T1	Testemunha
T2	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>
T3	<i>Bacillus subtilis</i>
T4	<i>Bacillus megaterium</i>
T5	<i>Bradyrhizobium japonicum</i> + <i>Bacillus subtilis</i>
T6	<i>Bradyrhizobium japonicum</i> + <i>Bacillus megaterium</i>
T7	<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Bacillus megaterium</i>
T8	<i>Bradyrhizobium japonicum</i> + <i>Bacillus subtilis</i> + <i>Bacillus megaterium</i>

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Será utilizado o inoculante BiomaPhos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) na dose de 100 mL/ha, o qual será utilizado no momento do plantio, conforme recomendação da Embrapa (2021). Para o *Bradyrhizobium japonicum* (SEMIA 5080) a inoculação no sulco será realizada com o auxílio de um pulverizador costal, aplicando sobre as sementes o inoculante (Nod Soja 10+) na dose 300 mL/ha, conforme recomendação do fabricante (Evolution Agrosience, 2019).

Será utilizada a cultivar BRASMAX OLIMPO IPRO (grupo de maturação 8.0), material com a tecnologia INTACTA RR2 PRO, o qual apresenta hábito de crescimento indeterminado, flor branca, pubescência cinza e hilo marrom claro, posusindo porte alto, baixa ramificação e moderada resistência ao acamamento. O manejo fitotécnico será realizado de acordo com as recomendações de Tecnologias de Produção de Soja (Embrapa, 2013). Ainda, o controle de pragas e doenças, a adubação e os demais tratos culturais serão realizados conforme recomendação para a cultura em cada região (SEIXAS et al., 2020).

Para a determinação do estande de plantas, será realizado a contagem do número de plantas nas duas linhas centrais das parcelas, o qual será realizado aos 7 e 28 dias após a emergência (DAE), analisando assim a germinação e emergência das plântulas.

Aos 30 dias após a semeadura (DAS), no estágio V3, e aos 52 DAS, no florescimento, será determinada a altura de plantas. Posteriormente, será separado o sistema radicular da parte aérea das plantas e as raízes. Para a coleta das amostras, as plantas serão removidas do solo de forma manual, utilizando-se pá de corte com escavação em torno de 10 a 15 cm de raio ao redor da planta e profundidade suficiente para alcançar a totalidade do sistema radicular, as quais serão lavadas em água corrente para remoção do solo aderido e, os nódulos serão retirados das raízes e contados (Chagas Junior et al., 2022). Em seguida, o material vegetal será

colocado para secagem em estufa com circulação de forçada a 75 °C até obtenção de massa constante (Chagas Junior *et al.*, 2022). Após esse procedimento, o material vegetal será pesado para obter a massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR), massa seca total (MST) e a massa seca dos nódulos (MSN). Com os dados de MSPA, MSR e MST, será determinado a eficiência relativa de cada tratamento, calculada segundo a Equação 1, descrita por Bergensen *et al.* (1971).

$$ER = (MS \text{ inoculada com microrganismo} / MS \text{ sem inoculação}) \times 100$$

Sendo: ER – eficiência relativa, MS – massa seca.

A colheita será realizada de forma manual, colhendo 10,00 m nas duas linhas centrais de cada parcela (5 m em cada linha). Posteriormente, os grãos serão pesados e os dados transformados para sacas de 60,0 kg ha⁻¹, com a umidade corrigida para 13,0%. Ainda, o Peso de mil grãos (PMG) será obtido mediante a pesagem de 200 grãos por unidade experimental.

As condições de fertilidade do solo seguirão os padrões adotados na propriedade onde o experimento será instalado. O histórico da área indica que, há dez anos, vêm sendo cultivadas as culturas de soja e milho safrinha, com uso regular de plantas de cobertura para a formação de palhada.

A média de adubação utilizada pelo produtor ao longo das últimas safras tem sido de 100 unidades de fósforo e 120 unidades de potássio, conforme recomendação técnica adotada. No ano de abertura da área, foram aplicadas 12 toneladas por hectare de calcário, e, no ano seguinte, foi realizada a aplicação de 2 toneladas por hectare de gesso agrícola, com o objetivo de corrigir a acidez do solo e melhorar a disponibilidade de nutrientes nas camadas mais profundas.

Para a safra atual, o planejamento de adubação prevê a aplicação de 90 unidades de fósforo e 120 unidades de potássio. As fontes que serão utilizadas incluem o fertilizante MAP (fosfato monoamônico, formulação 10-52-00) e o cloreto de potássio (KCl). A aplicação do potássio será dividida em duas etapas: uma em pré-plantio e outra em pós-plantio, com o objetivo de otimizar a disponibilidade do nutriente ao longo do ciclo da cultura.

Os resultados obtidos serão submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade do erro, utilizando-se o software R versão 4.2.0 (R Core Team, 2024).

5 CRONOGRAMA

Na Tabela 3, se observa o cronograma das atividades projetadas que serão realizadas durante a elaboração do projeto.

Tabela 3 – Cronograma das atividades.

Atividades	Mês					
	1	2	3	4	5	6
Pesquisa do Tema	X					
Revisão bibliográfica	X	X				
Preparo da área		X				
Plantio		X				
Aplicação dos tratamentos		X				
Avaliações		X	X	X		
Colheita e Avaliações					X	
Tabulação de dados		X	X	X	X	
Análise dos resultados				X	X	
Relatório Final						X

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

6 ORÇAMENTO

Na Tabela 4, se encontra o orçamento que será necessário para a realização do presente projeto.

Tabela 4 – Orçamento do projeto.

Item	Unid.	Quant.	Valor Unit. (R\$)	Total
Papel A4	Resma	01	R\$ 40,00	R\$ 40,00
Luvras nitrílicas	Caixa	01	R\$ 44,90	R\$ 44,90
Sementes de soja	Saca	01	R\$ 150,00	R\$ 150,00
Adubo (50kg)	Saca	01	R\$ 165,00	R\$ 165,00
Bactérias	Litro	03	R\$ 100,00	R\$ 300,00
Bandeirinhas de fibra de vidro (135cm)	Unidade	40	R\$ 3,50	R\$ 140,00
Remuneração de serviço de terceiros	Diária	7	R\$ 100,00	R\$ 700,00
Combustível	Litro	20	R\$ 6,00	R\$ 120,00
Total				R\$ 1.659,90

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

7 RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se, com a presente pesquisa, que a inoculação isolada ou em conjunto de *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* e *Bradyrhizobium japonicum* promova um desenvolvimento mais vigoroso das plantas de soja, com resposta no aumento da produtividade.

REFERÊNCIAS

- BERGERSEN, F. J.; BROCKWELL, J.; GIBSON, A. H.; SCHWINGHAMER, E. A. Studies of natural populations and mutants of *Rhizobium* in the improvement of legume inoculants. **Plant and Soil**, v. 35, p. 3-16, 1971.
- CHAGAS JUNIOR, A. F.; JUNIOR, G. M. B. J. B.; LIMA, C. A. L.; MARTINS, A. L. L. M.; SOUZA, M. C. S.; CHAGAS, L. F. B. C. *Bacillus subtilis* como inoculante promotor de crescimento vegetal em soja. **Diversitas Journal**, v. 7, n. 1, p. 0001-0016, 2022.
- COLONELLI, L. L. **Efeito da antecipação da adubação sobre o desempenho agrônômico da cultura da soja**. 2021. 45p. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2021.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos – safra 2024/25**. 7º levantamento, v. 12, n. 7, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/7o-levantamento-safra-2024-25/boletim-da-safra-de-graos>. Acessado em: maio de 2025.
- COOPERTRADIÇÃO. **Sementes – soja**. 2025. Disponível em: <https://coopertradicao.com.br/sementes/2/soja>. Acessado em: março de 2025.
- COSTA, L. C.; TAVANTI, R. F. R.; TAVANTI, T. R.; PEREIRA, C. S. Desenvolvimento de cultivares de soja após inoculação de estirpes de *Bacillus subtilis*. **Nativa**, v. 7, n. 2, p. 126-132, 2019.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Validação da recomendação para o uso do inoculante BiomaPhos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) na cultura de soja**. Circular Técnica 279, p. 1-19, 2021.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de Produção de Soja – Região central do Brasil 2014**. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 265 p. (Sistemas de Produção, n.16). 2013.
- EVOLUTION AGROSCIENCE. **Inoculante NORD SOJA 10+**. 2019. Disponível em: <https://www.evolution.agr.br/produtos/inoculantes/nod-soja-10-nod-soja-10/>. Acessado em: março de 2025.
- GAO, C.; EL-SAWAH, A. M.; ALI, D. F. I.; ALHAJ HAMOUD, Y.; SHAGHALEH, H.; SHETEIWY, M. S. The integration of bio and organic fertilizers improve plant growth, grain yield, quality and metabolism of hybrid maize (*Zea mays* L.). **Agronomy**, v. 10, n. 3, p. 319, 2020.
- GAONKAR, V.; ROSENTRATER, K. A. Soybean. In: Integrated processing technologies for food and agricultural by-products. **Academic Press**, 2019. p. 73-104.
- GAZZONI, D. L. A soja no Brasil é movida por inovações tecnológicas. **Ciência e Cultura**, v. 70, n. 3, p. 16–18, 2018.

GUZMÁN-MORENO, J.; GARCÍA-ORTEGA, L. F.; TORRES-SAUCEDO, L.; RIVAS-NORIEGA, P.; RAMÍREZ-SANTOYO, R. M.; SÁNCHEZ-CALDERÓN, L.; VIDALES-RODRÍGUEZ, L. E. *Bacillus megaterium* HgT21: a promising metal multiresistant plant growth-promoting bacteria for soil bioremediation. **Microbiology Spectrum**, v. 10, n. 5, p. e00656-22, 2022.

HAFIZ, M. H. R.; SALEHIN, A.; ITOH, K. Growth and competitive infection behaviors of *Bradyrhizobium japonicum* and *Bradyrhizobium elkanii* at different temperatures. **Horticulturae**, v. 7, n. 3, p. 41, 2021.

HAILEMARIAM, M.; SILESHI, Y.; ASFAW, E.; TESFAYE, A.; ASSEN, M. Demonstration of maize-soybean (*Glycine max* (L) Merrill) rotations in promotion for sustainable cropping system in Southwest Ethiopia. **Journal of Genetic and Environmental Resources Conservation**, v. 9, n. 2, p. 96-101, 2021.

HASHEM, A.; TABASSUM, B.; ABD ALLAH, E. F. *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, n. 6, p. 1291-1297, 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção de Soja. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/soja/br>. Acessado em: Março de 2025.

IPNI – **International Plant Names Index**. 2020. Disponível em: <https://www.ipni.org/>. Acessado em: março de 2025.

LANNA FILHO, R.; FERRO, H. M.; PINHO, R. S. C. Controle biológico mediado por *Bacillus subtilis*. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 4, n. 2, p. 12-20, 2010.

LORINI, I. **Qualidade de sementes e grãos comerciais de soja no Brasil- safra 2015/16**. Londrina, 2017.

LUTHRIA, D. L.; MARIA JOHN, K. M.; MARUPAKA, R.; NATARAJAN, S. Recent update on methodologies for extraction and analysis of soybean seed proteins. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 15, p. 5572-5580, 2018.

NAKEI, M. D.; VENKATARAMANA, P. B.; NDAKIDEMI, P. A. Soybean-nodulating rhizobia: ecology, characterization, diversity, and growth promoting functions. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 6, p. 824444, 2022.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; BINI, D.; SOUSA, S. M.; RIBEIRO, V. P.; SANTOS, F. C.; PAULA LANA, U. G.; MARRIEL, I. E. Inoculation with *Bacillus megaterium* CNPMS B119 and *Bacillus subtilis* CNPMS B2084 improve P-acquisition and maize yield in Brazil. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, p. 1426166, 2024.

PANKIEVICZ, V. C.; IRVING, T. B.; MAIA, L. G.; 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, n. 1, p. 99, 2019.

PEREIRA, F. S.; PEREIRA, L. S.; CONTINI, R. E.; STEMPKOWSKI, L. A.; ZANELLA, E. J.; SANTOS, K. C. Testes fisiológicos de diferentes lotes de sementes de soja. **Revista da**

Jornada da Pós-Graduação e Pesquisa – Congrega, v. 15, n. 15, p. 1520-1529, 2018.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. 2024. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: março de 2025.

RADHAKRISHNAN, R.; HASHEM, A.; ABD ALLAH, E. F. *Bacillus*: A biological tool for crop improvement through bio-molecular changes in adverse environments. **Frontiers in Physiology**, v. 8, p. 667, 2017.

RASHID, U.; YASMIN, H.; HASSAN, M. N.; NAZ, R.; NOSHEEN, A.; SAJJAD, M.; AHMAD, P. Drought-tolerant *Bacillus megaterium* isolated from semi-arid conditions induces systemic tolerance of wheat under drought conditions. **Plant Cell Reports**, p. 1-21, 2022.

SANTIN, G. B.; CAIXETA, W.; ROCHA, G. A.; SOUZA, A. H. C.; TAVARES, C. J. Effect of phosphorus and strains of *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) and *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) on soybean productivity and viability. **Revista Observatorio de la Economia Latinoamericana**, v. 22, n. 2, p. 1-18, 2024.

SARAO, S. K.; BOOTHE, V.; DAS, B. K.; GONZALEZ-HERNANDEZ, J. L.; BRÖZEL, V. S. *Bradyrhizobium* and the soybean rhizosphere: Species level bacterial population dynamics in established soybean fields, rhizosphere and nodules. **Plant and Soil**, p. 1-16, 2024.

SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JÚNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. de C. (ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 347 p. (Embrapa Soja. Sistema de Produção, 17).

SENTELHA, P. C.; MONTEIRO, J. E. B. A. **Informações para uma agricultura sustentável**. IN: MONTEIRO, J. E. B. A. Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: INMET, 2019. 530 p.

SEPLAN - Secretaria do Planejamento e Orçamento - **Diretoria de Pesquisa e Informações Econômicas**. Perfil Socioeconômico dos Municípios -. Palmas – TO, 2013.

SHETEIWY, M. S.; ALI, D. F. I.; XIONG, Y. C.; BRESTIC, M.; SKALICKY, M.; HAMOUD, Y. A.; EL-SAWAH, A. M. Physiological and biochemical responses of soybean plants inoculated with Arbuscular mycorrhizal fungi and *Bradyrhizobium* under drought stress. **BMC Plant Biology**, v. 21, p. 1-21, 2021.

SILVESTRINI, G. R.; ROSA, E. J.; CORRÊA, H. C.; DAL MAGRO, T.; SILVESTRE, W. P.; PAULETTI, G. F.; CONTE, E. D. Potential Use of Phosphate-Solubilizing Bacteria in Soybean Culture. **AgriEngineering**, v. 5, n. 3, p. 1544-1554, 2023.

SOLANKI, K.; CHOUDHARY, S. K.; SINGH, V.; NATH, H.; ANSHUMAN, K. Response of *Bacillus megaterium* and *Bacillus mucilaginosus* Strains on Growth and Nutrient Uptake of Soybean. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 35, n. 21, p. 267-276, 2023.

VAN ITTERSUM, M. K.; CASSMAN, K. G.; GRASSINI, P.; WOLF, J.; TITTONELL, P.;

HOCHMAN, Z. Yield gap analysis with local to global relevance a review. **Field Crops Research**, v. 143, p. 4-17, 2013.

WANG, S.; NA, X.; YANG, L.; LIANG, C.; HE, L.; JIN, J.; BI, Y. *Bacillus megaterium* strain WW1211 promotes plant growth and lateral root initiation via regulation of auxin biosynthesis and redistribution. **Plant and Soil**, v. 466, p. 491-504, 2021.

WYCISZKIEWICZ, M.; SAEID, A.; CHOJNACKA, K. In situ solubilization of phosphorus-bearing raw materials by *Bacillus megaterium*. **Engineering in Life Sciences**, v. 17, n. 7, p. 749-758, 2017.

ZHOU, Y.; CHEN, J.; ZHU, X.; WANG, Y.; LIU, X.; FAN, H.; CHEN, L. Efficacy of *Bacillus megaterium* strain Sneb207 against soybean cyst nematode (*Heterodera glycines*) in soybean. **Pest Management Science**, v. 77, n. 1, p. 568-576, 2021.

