



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS PEDRO II
CURSO LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

FRANCISCO JONATAS FONTINELE PEREIRA

**EFICIÊNCIA DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO NO
DESENVOLVIMENTO INICIAL DO MILHO CRIOULO EM PEDRO II-PI**

PEDRO II- PI
2025

FRANCISCO JONATAS FONTINELE PEREIRA

EFICIÊNCIA DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO NO
DESENVOLVIMENTO INICIAL DO MILHO CRIOULO EM PEDRO II-PI

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para a
obtenção do diploma do Curso de Licenciatura
em Ciências Biológicas do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – IFPI
Campus Pedro II.

Orientadora: Dr^a Marineide Rodrigues do
Amorim

Coorientador: Dr. Rafael da Costa Almeida

PEDRO II- PI

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Pereira, Francisco Jonatas Fontinele

P436e Eficiência de bactérias promotoras de crescimento no desenvolvimento inicial do milho crioulo em Pedro II-PI / Francisco Jonatas Fontinele Pereira. - 2025.

82 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Pedro II, 2025.

Orientadora : Profa Dra. Marineide Rodrigues do Amorim.

Coorientador : Prof Dr. Rafael da Costa Almeida.

1. Milho crioulo. 2. Bactérias promotoras de crescimento . 3. Sustentabilidade agrícola. I.Título.

CDD - 570

Elaborado por Wirllanna Naira da Silva Torres CRB 3/1088

FRANCISCO JONATAS FONTINELE PEREIRA

**EFICIÊNCIA DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO NA
PRODUTIVIDADE DE MILHO CRIOULO EM PEDRO II-PI**

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para a obtenção
do diploma do Curso de Licenciatura em Ciências
Biológicas do Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Piauí – IFPI *Campus* Pedro II.

Aprovada em: 29/09/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Marineide Rodrigues do Amorim (Orientador(a))
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Rafael Da Costa Almeida
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dra. Mayanna Karlla Lima Costa
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

À família, pelo constante apoio e às amizades cultivadas na universidade, por tornarem essa jornada mais leve. À minha mãe, minha base e inspiração de vida.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, por me permitir chegar até aqui e realizar conquistas que, um dia, pareciam distantes. Sem sua presença, nenhum dos meus feitos teria sido possível. À minha família, meu porto seguro, minha base. Aos meus pais, Cicera Lima e Antônio Luis por todo amor, sacrifício e apoio silencioso, por cada palavra de incentivo e por nunca deixarem de acreditar no meu potencial e sempre me ajudarem de longe, nos piores dias e por nunca terem deixado faltar nada para mim.

Aos meus irmãos, que sempre estiveram ao meu lado, torcendo por mim com orgulho e carinho, meu sincero agradecimento por cada gesto, palavra ou abraço em momentos difíceis. Agradeço à minha irmã Ana Jayra e ao meu cunhado Germano pelo acolhimento tão generoso em sua casa. Durante todo o tempo em que estive com vocês, nunca me faltou nada, conforto, apoio e carinho

Aos membros do grupo de pesquisa em Microbiologia Ambiental e Melhoramento Genético (BIOTECPI MICRO), minha gratidão por toda a parceria e dedicação durante os experimentos e envolvimento de todos os membros. Meu sincero obrigado por tudo. Estendo minha gratidão ao Janderson, que esteve ao meu lado desde o início, sempre disposto a ajudar em cada dúvida, em cada dificuldade. Sua paciência e apoio constante foram fundamentais ao longo dessa jornada.

As amizades que a faculdade me proporcionou, Jussara, Brenda, Karol e Marcus. Ter ao meu lado pessoas com quem pude dividir não só trabalhos e responsabilidades, mas também alegrias, desabafos e sonhos, tornou essa caminhada muito mais leve e significativa. Em especial, agradeço às minhas amigas Yris e Alana, por todo o apoio, pela presença constante e por cada momento vivido ao longo dessa jornada. Com vocês, os dias difíceis se tornaram suportáveis e os bons, inesquecíveis.

Agradeço profundamente à minha professora e orientadora, Dra Marineide Rodrigues do Amorim por ser muito mais do que uma orientadora acadêmica. Por ser um exemplo de profissionalismo, sabedoria e humanidade. Por cada ensinamento transmitido com rigor e generosidade, pelas reclamações quando necessárias, e por nunca medir esforços para me auxiliar em todos os momentos. Seu apoio foi essencial em cada conquista, e a ela dedico grande parte do que aprendi e me tornei.

Os microrganismos dominaram a Terra muito antes de nós e ainda dominam.

Carl Woese

RESUMO

O uso intensivo de fertilizantes nitrogenados eleva custos de produção e pressiona o ambiente, o que motiva a busca por alternativas baseadas em bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP). Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho agrônômico de três variedades de milho crioulo inoculadas com diferentes estirpes bacterianas, com foco na promoção do crescimento vegetal e na fixação biológica de nitrogênio (FBN), sob condições controladas de casa de vegetação. Neste trabalho, avaliou-se o crescimento inicial de três variedades de milho crioulo inoculadas com isolados bacterianos em dois ensaios complementares: (i) substrato estéril (triagem em ambiente controlado) e (ii) solo não esterilizado com microbiota nativa, no qual foram testadas apenas as estirpes selecionadas como mais promissoras no primeiro ensaio (validação sob competição microbiana). Aos ~40 dias após a semeadura, foram mensurados altura da parte aérea e da raiz, diâmetro do colmo, número de folhas, volume radicular e massas secas da parte aérea e da raiz. Os dados foram analisados por ANOVA fatorial (Variedade × Estirpe) e teste de Tukey ($\alpha = 0,05$), com verificação de normalidade dos resíduos e homocedasticidade antes da comparação de médias. Entre os isolados testados, *Enterobacter sp.* e *Bacillus subtilis* apresentaram incrementos significativos nas variáveis de crescimento, superando os tratamentos com 100% de adubação nitrogenada para alguns parâmetros. A interação variedade × isolado foi significativa para o crescimento radicular e massa seca da parte aérea, evidenciando a importância da compatibilidade entre genótipos vegetais e microrganismos. Tais achados reforçam o potencial dessas estirpes como bioinoculantes, podendo ser incorporadas a estratégias de manejo sustentável em sistemas de base familiar, especialmente em regiões de baixa fertilidade e com limitações no uso de insumos convencionais.

Palavras-chave: *Zea mays*, agricultura sustentável, fixadores de N, interação plantas-microrganismos.

ABSTRACT

The intensification of agriculture has demanded the increasing use of nitrogen fertilizers, raising production costs and generating considerable environmental impacts. In this context, the use of plant growth-promoting bacteria (PGPB) emerges as a promising and sustainable alternative to optimize plant nutrition. This study aimed to evaluate the agronomic performance of three varieties of creole maize inoculated with different bacterial strains, focusing on plant growth promotion and biological nitrogen fixation (BNF) under controlled greenhouse conditions. Two sequential trials were conducted. In the first, nine bacterial isolates were tested in a completely randomized design. The strains with the best performance in morphological variables were selected for the second trial, which was conducted in non-sterilized soil to assess the efficacy of the isolates in competition with the native microbiota. The evaluations included shoot and root length, stem diameter, number of leaves, root volume, and dry biomass. Data were subjected to analysis of variance, and means were compared using Tukey's test ($p < 0.05$). The results demonstrated that inoculation with *Enterobacter sp.* and *Bacillus subtilis* led to significant increases in growth variables, surpassing the treatments with 100% nitrogen fertilization for some parameters. The variety $\times$ isolate interaction was significant for root growth and shoot dry mass, highlighting the importance of compatibility between plant genotypes and microorganisms. These findings reinforce the potential of these strains as bioinoculants, which can be incorporated into sustainable management strategies in smallholder farming systems, especially in regions with low soil fertility and limited access to conventional inputs.

Keywords: *Zea mays*, sustainable agriculture, N-fixers, plant-microorganism interaction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Preenchimento dos copos com solo estéril.....	27
Figura 2 - Desinfestação das sementes com Hipoclorito de sódio a 2% e álcool 70%.	27
Figura 3 - Inoculação.....	29
Figura 4 - Plantas de milho.....	29
Figura5 - Avaliação de CPA e CPR.....	30
Figura 6 - Avaliação dos parâmetros de crescimento.....	30
Figura 7 - Inoculação da bactéria nas sementes.....	33
Figura 9 - Avaliação de CPR.....	33

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comprimento da parte aérea de plantas de milho crioulo inoculadas com isolados de bactérias promotoras de crescimento vegetal. As médias foram submetidas à análise de variância e comparadas por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$).	35
Gráfico 2 - Comprimento da raiz de plantas de milho crioulo inoculadas com isolados de bactérias promotoras de crescimento vegetal. As médias foram submetidas à análise de variância e comparadas por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$).	37
Gráfico 3 - Volume radicular de plantas de milho crioulo inoculadas com isolados de bactérias promotoras de crescimento vegetal. As médias foram submetidas à análise de variância e comparadas por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$).	37
Gráfico 4 - Massa seca da parte aérea de plantas de milho crioulo inoculadas com isolados de bactérias promotoras de crescimento vegetal. As médias foram submetidas à análise de variância e comparadas por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$).	40
Gráfico 5 - Massa seca da raiz de plantas de milho crioulo inoculadas com isolados de bactérias promotoras de crescimento vegetal. As médias foram submetidas à análise de variância e comparadas por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$).	42
Gráfico 6 - Comprimento do colmo de plantas de milho crioulo inoculadas com isolados de bactérias promotoras de crescimento vegetal. As médias foram submetidas à análise de variância e comparadas por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$).	43
Gráfico 7 - Diâmetro do colmo de plantas de milho crioulo inoculadas com isolados de bactérias promotoras de crescimento vegetal. As médias foram submetidas à análise de variância e comparadas por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$).	45
Gráfico 8 - Massa seca do colmo de plantas de milho crioulo inoculadas com isolados de bactérias promotoras de crescimento vegetal. As médias foram submetidas à análise de variância e comparadas por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$).	46
Gráfico 9 - Quantidade de folhas de plantas de milho crioulo inoculadas com isolados de bactérias promotoras de crescimento vegetal. As médias foram submetidas à análise de variância e comparadas por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$).	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Identidade dos isolados de nódulos de feijão-caupi, com base na sequência	26
Tabela 2 - Composição dos tratamentos do esquema fatorial do experimento em casa de vegetação localizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí.	28
Tabela 3 - Composição dos tratamentos do esquema fatorial do experimento em casa de vegetação.	32
Tabela 4 - Quadro da análise de variância para o comprimento da parte aérea (CPA) do milho, considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação (ENSAIO I).	68
Tabela 5 - Quadro da análise de variância para o CPA do milho (ENSAIO II), considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação.	68
Tabela 6 - Quadro da análise de variância para o comprimento do sistema radicular (CPR) do milho, considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação (ENSAIO I).	69
Tabela 7 - Quadro da análise de variância para o CPR do milho (ENSAIO II), considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação.	69
Tabela 8 - Quadro da análise de variância para o volume radicular (VR) do milho, considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação(ENSAIO I).	70
Tabela 9 - Quadro da análise de variância para o volume radicular (VR) do milho, considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação(ENSAIO II).	70
Tabela 10 - Quadro da análise de variância para a massa seca da parte aérea (MSPA) do milho, considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação(ENSAIO I).	71
Tabela 11 - Quadro da análise de variância para MSPA do milho, considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação (ENSAIO II).	71
Tabela 12 - Quadro da análise de variância para a massa seca da raiz (MSR) do milho, considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação (ENSAIO I).	72
Tabela 13 - Quadro da análise de variância para MSR do milho, considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação (ENSAIO II).	72
Tabela 14 - Quadro da análise de variância para o comprimento do colmo (altura)do milho, considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação (ENSAIO I).	73

Tabela 15 - Quadro da análise de variância para o CC do milho (ENSAIO II), considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação.	73
Tabela 16 - Quadro da análise de variância para o diâmetro do colmo (DC) do milho, considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação.	74
Tabela 17 - Quadro da análise de variância para o DC do milho (ENSAIO II), considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação.	74
Tabela 18 - Quadro da análise de variância para a massa seca do colmo (MSC) do milho, considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação (ENSAIO I).	75
Tabela 19 - Quadro da análise de variância para MSC do milho, considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação (ENSAIO II).	75
Tabela 20 - Quadro da análise de variância para a quantidade de folhas (QF) milho, considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação.....	76
Tabela 21 - Quadro da análise de variância para o QF do milho (ENSAIO II), considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação.	76

LISTA DE SÍMBOLOS

±: Desvio padrão

%: porcentagem

~: Aproximadamente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA	16
2.1 A CULTURA DO MILHO	16
2.2 BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO EM PLANTA (BPCP)	18
2.3 UTILIZAÇÃO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO DE PLANTAS NA AGRICULTURA	21
2.4 INOCULAÇÃO DE BPCP EM POACEAE	23
3 METODOLOGIA	25
ENSAIO I – SELEÇÃO DE ESTIRPES BACTERIANAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO A PARTIR DA INOCULAÇÃO EM MILHO CRIOULO	26
3.1 PREPARO DO INOCULANTE	26
3.2 PREPARO DO SOLO E DESINFESTAÇÃO DAS SEMENTES	27
3.3 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO ESTATÍSTICO	28
3.4 CULTIVO DAS PLANTAS	28
3.5 AVALIAÇÕES	29
3.5.1 Parâmetros indicadores de crescimento	29
ENSAIO II – VALIDAÇÃO E SELEÇÃO DE ISOLADOS BACTERIANOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO E FIXADORES DE NITROGÊNIO EM MILHO CRIOULO EM CONDIÇÕES DE CASA DE VEGETAÇÃO EM COMPETIÇÃO COM OS MICROORGANISMOS NATIVOS	30
3.5.2 condução do experimento	31
3.5.3 tratamentos e delineamento estatístico	31
3.5.4 preparo do inoculante, adubação, plantio, cultivo e avaliações	32
3.5.5 análise estatística	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5 CONCLUSÃO	49
REFERÊNCIAS	50
ANEXO 1	68

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda global por alimentos, associada à necessidade de minimizar os impactos ambientais da agricultura convencional, tem incentivado a busca por estratégias mais sustentáveis na nutrição de plantas. Dentre os insumos agrícolas mais empregados, os fertilizantes nitrogenados exercem papel central na produtividade das culturas (Reetz, 2017).

No entanto, seu uso intensivo e, muitas vezes, indiscriminado acarreta sérios impactos negativos, como acidificação do solo, contaminação de corpos hídricos por nitrato e emissão de gases de efeito estufa, contribuindo para a degradação ambiental e as mudanças climáticas (Sá *et al.*, 2017; Galvão *et al.*, 2017). Além disso, o alto custo desses insumos representa um desafio econômico expressivo, sobretudo em sistemas de agricultura familiar, que carecem de acesso a tecnologias e recursos financeiros adequados.

Nesse cenário, destacam-se as bactérias promotoras de crescimento em plantas (BPCPs) como alternativa biológica sustentável para promover o crescimento das plantas, reduzir o uso de fertilizantes sintéticos e restaurar a saúde do solo. Esses microrganismos interagem com as plantas na rizosfera, aderidos às raízes ou como endófitos, promovendo o desenvolvimento vegetal por meio de mecanismos como a fixação biológica de nitrogênio (FBN), a produção de fitormônios e a solubilização de nutrientes (Niu *et al.*, 2018; Numan *et al.*, 2018; Zuluaga *et al.*, 2020).

Diversas culturas agrícolas têm demonstrado respostas positivas à inoculação com BPCPs, como sorgo, soja, cana-de-açúcar e, especialmente, o milho (*Zea mays* L.), que exhibe elevada capacidade de estabelecer associações benéficas com gêneros bacterianos como *Burkholderia*, *Azospirillum* e rizóbios (Alves, 2007; Hungria *et al.*, 2010; Bécquer *et al.*, 2011). Essas interações favorecem a absorção de nutrientes, o crescimento radicular e a tolerância ao estresse, sendo promissoras para práticas agrícolas mais resilientes e menos dependentes de insumos externos. No entanto, sua eficácia depende da compatibilidade entre os genótipos vegetais e as estirpes bacterianas, o que reforça a importância de estudos específicos de seleção e validação (Oliveira *et al.*, 2014).

No Brasil, o milho é uma das principais culturas alimentares, ocupando cerca de 22 milhões de hectares e alcançando uma produção superior a 125 milhões de toneladas (Conab, 2022). No estado do Piauí, embora parte significativa da produção esteja concentrada em grandes monocultivos empresariais, destaca-se também o cultivo por pequenos agricultores familiares, que utilizam variedades crioulas adaptadas às condições locais e comercializam a produção em mercados e feiras livres. Contudo, esses agricultores enfrentam limitações técnicas e econômicas, com baixa adoção de tecnologias e reduzido uso de adubação nitrogenada, o que impacta negativamente a produtividade (Marengo *et al.*, 2022; Viana *et al.*, 2022).

Nesse contexto, a utilização de inoculantes microbianos baseados em BPCPs surge como uma alternativa viável, de baixo custo e ambientalmente adequada para promover o crescimento das plantas em sistemas agrícolas familiares. Além de reduzir a dependência de fertilizantes industriais, essas tecnologias podem contribuir para a regeneração do solo e o aumento da resiliência produtiva. A seleção de estirpes adaptadas às condições edafoclimáticas do semiárido piauiense representa um passo estratégico para garantir o sucesso dessas práticas em campo.

A presente pesquisa justifica-se, portanto, pela necessidade de desenvolver soluções sustentáveis e acessíveis para a agricultura familiar no Nordeste, aproveitando o potencial das BPCPs em culturas regionais de grande valor socioeconômico, como o milho crioulo. A carência de produtos biológicos específicos para esses ambientes e variedades tradicionais reforça a relevância científica e prática desta investigação. Ao integrar conhecimentos da microbiologia agrícola, da fisiologia vegetal e da realidade produtiva regional, este estudo busca contribuir com alternativas alinhadas à agroecologia, à segurança alimentar e à valorização da agrobiodiversidade.

Diante do exposto, formula-se a hipótese de que a inoculação com estirpes eficientes de bactérias promotoras de crescimento vegetal pode favorecer o desempenho agrônomo do milho crioulo, tradicionalmente cultivado por agricultores familiares. Por meio de mecanismos como a fixação biológica de nitrogênio, a secreção de reguladores de crescimento e a solubilização de nutrientes, espera-se promover melhorias na altura das plantas, no crescimento radicular e, consequentemente na produtividade.

O presente estudo tem como objetivo avaliar o crescimento e a produtividade de três variedades de milho crioulo cultivadas no município de Pedro II, estado do Piauí,

em resposta à inoculação com diferentes isolados de BPCPs, com foco no potencial da fixação biológica de nitrogênio. Além de aprofundar o conhecimento sobre as interações planta-microrganismo, a pesquisa visa fomentar práticas agrícolas sustentáveis que possam ser incorporadas por agricultores familiares da região, promovendo o aumento da produção e a redução da dependência de fertilizantes sintéticos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

2.1 A CULTURA DO MILHO

O milho (*Zea mays* L.), pertencente à família Poaceae, é uma das culturas agrícolas mais relevantes em escala mundial, tanto por sua importância econômica quanto por sua contribuição alimentar. Originário do teosinto, em especial da subespécie *Zea mays ssp. mexicana* (Schrader) Iltis, o milho possui uma longa história de domesticação, estimando-se que tenha sido uma das primeiras plantas cultivadas pela humanidade entre 7.000 e 10.000 anos atrás. Evidências arqueológicas encontradas no México revelam espigas primitivas datadas de mais de 5.000 anos, indicando seu uso ancestral como alimento básico (Tranker, 2023).

Essa trajetória evolutiva, associada à sua ampla diversidade genética e à notável adaptabilidade ecológica, permitiu sua disseminação por diferentes continentes, consolidando-o como uma cultura estratégica para a segurança alimentar global. Atualmente, o milho é responsável pela alimentação de mais de 4,5 bilhões de pessoas em cerca de 94 países em desenvolvimento, sendo amplamente utilizado na dieta humana, na nutrição animal e como matéria-prima para diversos segmentos industriais (Shiferaw *et al.*, 2011).

No contexto brasileiro, o milho ocupa posição de destaque entre as principais commodities agrícolas, com cultivo em todas as regiões do país. A área cultivada gira em torno de 22 milhões de hectares, com destaque para a segunda safra — conhecida como “safrinha” —, que responde por cerca de 70% da produção nacional (BRASIL, 2022). O avanço tecnológico, o uso de cultivares adaptadas e o manejo eficiente contribuíram para produtividades médias que alcançam 10 t ha⁻¹ (Conab, 2019).

A produção nacional atende a diferentes finalidades. Cerca de 60% da produção de milho é destinada à formulação de rações, evidenciando seu papel central na cadeia pecuária (MAPA, 2019). No Nordeste brasileiro, a produção de milho-verde apresenta destaque socioeconômico, principalmente entre agricultores familiares, por seu baixo custo de produção e contribuição para o abastecimento alimentar regional (Galvão *et al.*, 2014). Além disso, o cereal é amplamente utilizado na indústria alimentícia, farmacêutica e na produção de biocombustíveis, como o etanol (Valadares *et al.*, 2016).

Sob o ponto de vista agrônomo, o milho distingue-se por suas elevadas exigências nutricionais e por sua sensibilidade às condições edafoclimáticas. Embora seja adaptável a diferentes tipos de solo, seu desenvolvimento ideal ocorre em solos profundos, bem estruturados, com textura média, que favorecem a retenção de água e a disponibilidade de nutrientes (Tranker, 2023).

A cultura acumula grandes quantidades de macronutrientes ao longo de seu ciclo fenológico, especialmente nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e cálcio (Ca), os quais desempenham funções essenciais na formação de tecidos, na fotossíntese, na síntese de proteínas e na manutenção da integridade celular. A composição do grão de milho, rica em carboidratos, proteínas e aminoácidos essenciais, reforça seu elevado valor nutricional e energético para a alimentação humana e animal (Ranum *et al.*, 2014; Tranker, 2023).

Compreender essas exigências nutricionais é essencial para garantir o desempenho agrônomo da cultura em diferentes sistemas produtivos, seja voltado para o milho-verde ou para o grão seco. Dentre os nutrientes, o nitrogênio destaca-se como elemento-chave para o crescimento vegetativo e para a expressão do potencial produtivo. Ele está envolvido na biossíntese de proteínas, ácidos nucleicos e clorofilas, além de atuar em processos relacionados ao metabolismo energético (Reznick *et al.*, 2019; Pereira *et al.*, 2019).

Entretanto, o uso intensivo de fertilizantes nitrogenados acarreta custos elevados e perdas significativas por volatilização e lixiviação, sobretudo quando aplicados em excesso ou sob manejo inadequado (Sá *et al.*, 2017). Culturas como milho, trigo e arroz são responsáveis por aproximadamente 60% do consumo global de fertilizantes nitrogenados, sendo que menos da metade do nitrogênio aplicado é efetivamente absorvida pelas plantas (Mota *et al.*, 2015; Reznick *et al.*, 2019). Esse

dado revela a baixa eficiência da adubação convencional e reforça a necessidade urgente de alternativas mais sustentáveis.

Nesse cenário, as inovações tecnológicas na agricultura têm dado destaque à utilização de microrganismos benéficos, especialmente as bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs). Esses microrganismos são capazes de colonizar a rizosfera ou os tecidos internos das raízes, estimulando o crescimento radicular, aumentando a absorção de nutrientes e água e favorecendo respostas fisiológicas em condições de estresse abiótico.

Diversos estudos têm demonstrado o potencial das BPCPs em substituir parcialmente os fertilizantes nitrogenados, contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Gêneros como *Azospirillum*, *Herbaspirillum*, *Bacillus* e *Pseudomonas* têm sido investigados com sucesso em culturas como o milho, promovendo incrementos significativos em produtividade e eficiência no uso de nutrientes (Dotto *et al.*, 2010; Hungria *et al.*, 2010; Bhattacharyya e Jha, 2012; Araújo *et al.*, 2016; Veronezi *et al.*, 2018).

2.2 BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO EM PLANTA (BPCP)

As bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs), também conhecidas como *Plant Growth-Promoting Rhizobacteria* (PGPR), representam um grupo funcional extremamente diverso de microrganismos que interagem de maneira benéfica com plantas, colonizando distintos compartimentos, como a rizosfera (região do solo próxima às raízes), a filosfera (superfície das folhas) e os tecidos internos (associações endofíticas), sem causar danos ao hospedeiro (Pieterse *et al.*, 2016; Basu; Niu *et al.*, 2018). Essas interações são fortemente influenciadas por fatores bióticos e abióticos, sendo dependentes de uma compatibilidade específica entre microrganismo, espécie vegetal e ambiente (Glick, 2012).

Essas bactérias atuam por meio de dois mecanismos principais: os mecanismos diretos e os indiretos. Os mecanismos diretos envolvem a facilitação da absorção de nutrientes, como nitrogênio, fósforo e ferro, e a produção de fitormônios, incluindo auxinas (ácido indolacético - AIA), citocininas e giberelinas, que atuam diretamente na divisão e alongação celular, resultando em maior crescimento radicular, expansão foliar e acúmulo de biomassa (Saraf *et al.*, 2014; Novo *et al.*, 2018).

Por outro lado, os mecanismos indiretos compreendem a supressão de fitopatógenos, através da produção de antibióticos, sideróforos (moléculas quelantes de ferro), enzimas líticas (como quitinases e proteases) e da indução de resistência sistêmica adquirida (SAR) ou resistência sistêmica induzida (ISR) nas plantas (Somers *et al.*, 2004; Pieterse *et al.*, 2014).

Com base em suas funções, as BPCPs podem ser classificadas em quatro categorias operacionais: (1) biofertilizantes, quando aumentam a disponibilidade de nutrientes no solo ou na rizosfera por meio da fixação biológica de nitrogênio (FBN), solubilização de fosfatos ou produção de sideróforos; (2) fitoestimuladoras, pela produção de hormônios vegetais que estimulam diretamente o crescimento das plantas; (3) rizorremediadoras, por sua atuação na degradação ou modulação da biodisponibilidade de compostos tóxicos e metais pesados no solo; e (4) biopesticidas, por produzirem metabólitos antifúngicos e antibacterianos que suprimem o desenvolvimento de patógenos (Somers *et al.*, 2004; Glick, 2012; Novo *et al.*, 2018).

Diversos gêneros bacterianos têm sido reconhecidos por suas propriedades promotoras de crescimento, destacando-se aqueles pertencentes aos filos *Firmicutes* e *Proteobacteria* (Chen *et al.*, 2010; Batista *et al.*, 2018). No grupo dos *Firmicutes*, o gênero *Bacillus* é amplamente estudado devido à sua capacidade de produzir esporos resistentes, o que confere viabilidade em formulações comerciais (Oliveira *et al.*, 2014; Girio *et al.*, 2015).

Espécies desse gênero são conhecidas por estimular a nodulação de leguminosas, favorecer a fixação biológica de nitrogênio e aumentar a eficiência na absorção de nutrientes pelas plantas (Saharan e Nehra, 2011). Um exemplo histórico de aplicação é o biofertilizante *Alinit*, desenvolvido a partir de cepas de *Bacillus spp.*, que resultou em aumentos de produtividade de até 40% em diversas culturas (Kilian *et al.*, 2000).

Entre os *Proteobacteria*, o gênero *Azospirillum*, especialmente *A. brasilense*, destaca-se pela capacidade de fixar nitrogênio de forma associativa em gramíneas, colonizando a rizosfera e os tecidos radiculares, além de produzir auxinas e sideróforos que estimulam o crescimento vegetal e a absorção de ferro (Kannan e Ponmurugan, 2010; Bashan e de-Bashan, 2010). Além disso, essas bactérias exercem efeito protetor ao inibir a ação de fungos e bactérias fitopatogênicas presentes na rizosfera, contribuindo para a saúde das plantas (Kannan e Ponmurugan, 2010). Estudos indicam que a coinoculação de *Azospirillum* com

rizóbios pode aumentar significativamente a produtividade de culturas como milho e soja (Hungria *et al.*, 2010). Nas últimas décadas, pesquisas sugerem que a interação entre essas bactérias e as plantas envolve mais de 20 mecanismos que proporcionam benefícios ao desenvolvimento vegetal.

O gênero *Pseudomonas* destaca-se por sua elevada versatilidade ecológica e pela capacidade de produzir uma ampla gama de metabólitos secundários com propriedades bioativas. Dentre esses compostos, incluem-se antibióticos, sideróforos e fitohormônios, que atuam sinergicamente na promoção do crescimento vegetal e na supressão de fitopatógenos (Santos Dias e Santos, 2022).

Além dessas funções, diversas espécies do gênero apresentam notável atividade antifúngica e bactericida, com destaque para metabólitos como fenazinas, pioverdina, pioceanina e 2,4-diacetilfluoroglucinol (DAPG), os quais contribuem para o controle biológico de doenças de solo (Weller, 2007). *Pseudomonas fluorescens*, em particular, tem sido amplamente empregada em formulações comerciais devido à sua eficácia na promoção da saúde radicular e na supressão de agentes fitopatogênicos, consolidando-se como uma importante ferramenta biotecnológica em sistemas agrícolas sustentáveis (Santos Dias e Santos, 2022).

Enterobacter spp. são bactérias de ampla distribuição ambiental, reconhecidas por sua capacidade de promover o crescimento vegetal por meio de múltiplos mecanismos. Entre suas principais funcionalidades, destacam-se a fixação biológica de nitrogênio, a produção de ácido indolacético (AIA) e etileno, além da capacidade de estimular a formação de raízes secundárias e pelos radiculares, ampliando a área de absorção de nutrientes e água (Glick, 2012; Santos Dias e Santos, 2022).

Além disso, essas bactérias podem sintetizar sideróforos, contribuindo para a aquisição de ferro pelas plantas, e exercer efeitos benéficos indiretos por meio da supressão de patógenos do solo, via produção de compostos antimicrobianos. Essa multifuncionalidade confere a *Enterobacter spp.* grande potencial como bioinoculante em sistemas agrícolas sustentáveis, especialmente em condições de estresse ou baixa fertilização nitrogenada (Saraf *et al.*, 2014; Santos Dias e Santos, 2022).

Da mesma forma, representantes do gênero *Streptomyces* também possuem múltiplas funcionalidades benéficas à planta, podendo atuar como agentes de biofertilização, por meio da mineralização e disponibilização de nutrientes; como bioestimuladores, devido à produção de compostos reguladores de crescimento; ou ainda como agentes de bioproteção, pela capacidade de produzir metabólitos

antimicrobianos que inibem a ação de fitopatógenos (Saharan e Nehra, 2011; Goudjal *et al.*, 2013).

Por fim, *Burkholderia spp.* têm sido amplamente investigadas por suas múltiplas funcionalidades associadas à promoção do crescimento vegetal e à tolerância a estresses ambientais. Essas bactérias destacam-se por sua capacidade de solubilizar fosfatos insolúveis, sintetizar ácido indolacético (AIA), induzir resistência sistêmica nas plantas e exercer antibiose por meio da produção de compostos com ação antimicrobiana contra patógenos do solo (Silva *et al.*, 2017; Galdiano Junior *et al.*, 2011; Chowdhury e Bae, 2018).

Essas propriedades conferem a *Burkholderia* um papel estratégico na melhoria da nutrição e da sanidade vegetal, especialmente em contextos agrícolas adversos. Algumas espécies, como *Burkholderia cepacia*, têm se mostrado eficazes como inoculantes multifuncionais em solos degradados e sob condições de estresse salino, demonstrando potencial significativo para aplicação em sistemas de produção sustentáveis (Galdiano Junior *et al.*, 2011; Chowdhury e Bae, 2018).

Assim, as BPCPs representam uma estratégia promissora dentro dos princípios da agricultura sustentável, com potencial para reduzir a dependência de insumos químicos, melhorar a eficiência no uso de nutrientes e fortalecer a resiliência das culturas frente aos estresses bióticos e abióticos, contribuindo significativamente para sistemas agroecológicos de baixo impacto ambiental e elevada produtividade.

2.3 UTILIZAÇÃO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO DE PLANTAS NA AGRICULTURA

O uso de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) na agricultura possui raízes históricas que remontam às práticas tradicionais, muito antes da compreensão científica sobre os microrganismos. Desde os primórdios da agricultura, observou-se empiricamente que o cultivo consorciado ou em sucessão de leguminosas com gramíneas favorecia a fertilidade do solo e melhorava o desempenho das culturas subsequentes. Essas práticas, embora empíricas, promoviam o enriquecimento do solo em nitrogênio e a estimulação da microbiota benéfica, estabelecendo as bases para o uso indireto das BPCPs (Moreira e Siqueira, 2006).

O reconhecimento científico do papel das bactérias na fixação biológica de nitrogênio (FBN) teve início com os estudos de Martinus Beijerinck, em 1888, ao identificar microrganismos do gênero *Rhizobium* associados a nódulos de leguminosas. No Brasil, o avanço da tecnologia de inoculação só ganhou impulso a partir de 1951, com a publicação do primeiro artigo científico sobre o tema, marcando o início do desenvolvimento nacional de inoculantes agrícolas adaptados e à exploração do potencial das BPCPs no contexto tropical (Moreira e Siqueira, 2006).

Historicamente, a utilização de inoculantes concentrou-se nas simbioses estabelecidas entre *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* com leguminosas, resultando na formação de nódulos radiculares onde ocorre a conversão de nitrogênio atmosférico (N_2) em amônia (NH_3), assimilável pelas plantas. Esse modelo clássico é amplamente explorado em culturas como soja (*Glycine max*), ervilha (*Pisum sativum*), amendoim (*Arachis hypogaea*) e alfafa (*Medicago sativa*), sendo crucial para a sustentabilidade da produção agrícola moderna (Murray, 2011).

Contudo, nas últimas décadas, pesquisas demonstraram que a FBN não se restringe a interações nodulares. Diversas bactérias diazotróficas de vida livre, associativa ou endofítica têm sido identificadas em plantas não leguminosas, como milho, arroz e cana-de-açúcar, com potencial de fixar nitrogênio em compartimentos como a rizosfera e os tecidos internos das plantas, sem a formação de nódulos (Boddey *et al.*, 1986; Bourassa *et al.*, 2017).

Entre essas associações destaca-se a simbiose endofítica, na qual as bactérias colonizam os tecidos vegetais e realizam a fixação de N_2 diretamente no interior das células hospedeiras. Essa interação complexa depende de fatores genéticos, fisiológicos e ambientais, e tem se mostrado particularmente eficiente em ambientes com baixa disponibilidade de nitrogênio mineral, representando uma alternativa sustentável à adubação química (Bourassa *et al.*, 2017).

No contexto brasileiro, a aplicação de inoculantes contendo estirpes específicas de *Bradyrhizobium* em soja tem gerado impactos positivos expressivos, tanto em termos agronômicos quanto econômicos. Estima-se que essa prática proporcione uma economia anual de centenas de milhões de dólares em fertilizantes nitrogenados, ao mesmo tempo em que mantém elevadas produtividades, conferindo à soja brasileira uma vantagem competitiva substancial no mercado internacional (Hungria *et al.*, 2005; Döbereiner, 1997). Tais resultados impulsionaram a expansão da pesquisa sobre BPCPs para outras culturas de interesse estratégico.

Atualmente, os esforços científicos buscam expandir essa tecnologia para além das leguminosas. Em culturas como milho, arroz e trigo, a pesquisa tem priorizado a seleção de isolados microbianos com elevada capacidade de colonização e produção de metabólitos funcionais, visando aumentar o aporte biológico de nutrientes e melhorar a resiliência das plantas em sistemas agrícolas intensivos (Hungria, 2006; Bashan *et al.*, 2014). Em paralelo, investigações com leguminosas têm explorado estratégias de co-inoculação, visando sinergias entre diferentes estirpes e gêneros bacterianos, com potencial para otimizar a eficiência da simbiose e ampliar os benefícios agronômicos.

Estudos de Sharma e Kumawat (2020), Tavanti *et al.* (2020) e Rondina *et al.* (2020) demonstram esse avanço, ao documentarem a interação funcional de diferentes BPCPs com múltiplas espécies vegetais, reforçando a versatilidade e o potencial biotecnológico dessas bactérias no contexto de uma agricultura mais sustentável e menos dependente de insumos sintéticos.

2.4 INOCULAÇÃO DE BPCP EM POACEAE

As bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) têm despertado crescente interesse no manejo sustentável de culturas agrícolas de alta importância econômica, como o milho (*Zea mays* L.), o trigo (*Triticum aestivum* L.), o arroz (*Oryza sativa* L.) e a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). Diversos estudos têm demonstrado a eficácia dessas bactérias em promover o crescimento vegetal por meio de múltiplos mecanismos, incluindo fixação biológica de nitrogênio (FBN), solubilização de fosfatos, produção de fitormônios e controle biológico de fitopatógenos do solo (Montañez *et al.*, 2009; Arruda *et al.*, 2013; Chelius e Triplett, 2001; Bomfim *et al.*, 2020; Piromyou *et al.*, 2011).

Entre as BPCPs diazotróficas associativas que interagem com gramíneas (Poaceae), destacam-se gêneros como *Azotobacter*, associado à grama-batatais (*Paspalum notatum*), *Herbaspirillum* com arroz e cana-de-açúcar, bem como numerosas espécies de *Azospirillum* encontradas na rizosfera de capins tropicais, como *Brachiaria* e capim-elefante, e também em cereais como milho, trigo e sorgo (Döbereiner, 1992). Um marco importante para a agricultura brasileira foi a identificação de *Gluconacetobacter diazotrophicus* como endófito dos colmos da

cana-de-açúcar, com papel relevante na nutrição nitrogenada da planta (Boddey *et al.*, 1995).

No contexto da biotecnologia agrícola nacional, destaca-se o desenvolvimento do primeiro inoculante para gramíneas seguindo a regulamentação brasileira, fruto de uma parceria entre a Embrapa Soja e a Universidade Federal do Paraná (UFPR). Este inoculante, recomendado para milho e trigo, é composto pelas estirpes *Azospirillum brasilense* Ab-V5 e Ab-V6 (Hungria *et al.*, 2010). Complementarmente, pesquisadores da Embrapa Agrobiologia formularam um inoculante para a cana-de-açúcar contendo cinco estirpes endofíticas: *G. diazotrophicus* PAL5T, *A. amazonense* CBAmC, *Herbaspirillum seropedicae* HRC54, *H. rubrisubalbicans* HCC103 e *Burkholderia tropica* PPe8T.

Em arroz, a inoculação com *Burkholderia vietnamiensis* TVV75 em condições de campo resultou em aumentos de produtividade de 13% a 22% (Trân Van *et al.*, 2000). Em milho, a aplicação de *A. brasilense* associada a 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio mineral proporcionou produtividade equivalente ao uso de 130 kg ha⁻¹ de N sem inoculante, com maiores teores de clorofila e acúmulo de biomassa (Quadros *et al.*, 2014). Resultados semelhantes foram observados em trigo com o uso de metade da dose de N combinada à inoculação, elevando o desempenho agrônômico e a qualidade do grão (Pereira *et al.*, 2017).

Ensaio em casa de vegetação demonstraram que a inoculação com *Bacillus pumilus* S1r1, *Klebsiella pneumoniae* Fr1, *B. subtilis* UPMB10 e *Acinetobacter* sp. S3r2 aumentou a absorção de nitrogênio, a biomassa seca e o rendimento de espigas de milho (Kuan *et al.*, 2016). Em trigo, a aplicação de *B. subtilis* via sementes e pulverização foliar resultou em ganhos de produtividade sem alterar características industriais dos grãos, sendo também eficaz no controle de patógenos em sistemas agroecológicos (Radons, 2017).

Além da promoção nutricional, BPCPs têm sido eficazes na atenuação de estresses abióticos. A linhagem Az19 de *Azospirillum*, tolerante a estresse osmótico e salino in vitro, aumentou a resiliência hídrica de mudas de milho (Garcia *et al.*, 2017). A inoculação com *A. brasilense* Ab-V6 e *Rhizobium tropici* CIAT 899 também se mostrou eficaz na mitigação dos efeitos da salinidade (170 mM NaCl) sobre o milho. Em arroz, Zhang *et al.* (2018) destacaram que a coinoculação de *A. brasilense* e *P. fluorescens* melhorou a transformação e a disponibilidade de nitrogênio no solo e

aumentou a biomassa da planta. Na cana-de-açúcar, *P. fluorescens* promoveu ganhos em diversas características morfológicas (González *et al.*, 2015).

A coinoculação de *B. subtilis* e *A. brasilense*, combinada à redução de adubação fosfatada, tem se mostrado eficiente no aumento da produtividade do milho e na melhoria do aproveitamento de fósforo (Pereira *et al.*, 2020). A colonização eficaz da rizosfera ou dos tecidos internos pelas BPCPs depende da sua capacidade de sobrevivência no ambiente, da compatibilidade com a planta hospedeira e da produção de metabólitos bioativos, como fitormônios (AIA, giberelinas, citocininas), enzimas hidrolíticas e antibióticos naturais (Antunes *et al.*, 2017; Moreira *et al.*, 2010; Numan *et al.*, 2018; Zuluaga *et al.*, 2020).

As primeiras pesquisas com BPCPs em gramíneas no Brasil datam da década de 1970, com os trabalhos pioneiros de Day, Neves e Döbereiner (1975). Apesar do Brasil figurar entre os países líderes em pesquisa sobre inoculação microbiana, a adoção prática dessa tecnologia ainda é limitada (Martins *et al.*, 2018). A primeira regulamentação oficial de estirpes comerciais para milho e trigo ocorreu apenas em 2009 (Hungria *et al.*, 2010).

Mesmo com os avanços obtidos e os resultados promissores em diversos cultivos (Ahmed *et al.*, 2020; Aquino *et al.*, 2019; Carlson *et al.*, 2020), a oferta de inoculantes comerciais para gramíneas ainda é restrita, especialmente em áreas afastadas dos polos produtivos. De acordo com Cassán e Diaz-Zorita (2016), mais de 50 empresas produzem inoculantes na América do Sul, sendo a maioria na Argentina (com 85 produtos), apenas duas no Uruguai, uma no Paraguai e 16 no Brasil.

Diante desse panorama, é imprescindível intensificar os esforços em pesquisa aplicada e em políticas de fomento que favoreçam a seleção de estirpes eficientes, adaptadas às condições edafoclimáticas locais e compatíveis com os cultivares regionais. O fortalecimento da coinoculação e a ampliação da disponibilidade comercial dessas tecnologias representam caminhos promissores para a intensificação sustentável da agricultura tropical.

3 METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida em duas etapas complementares. A primeira etapa consistiu em um ensaio preliminar conduzido em condições controladas, com areia estéril, para a seleção de estirpes bacterianas com maior potencial de promoção do

crescimento vegetal. A segunda etapa envolveu a validação dessas estirpes em solo natural, não esterilizado, com o objetivo de observar sua atuação em competição com a microbiota nativa. Ambas as fases foram conduzidas em ambiente de casa de vegetação, utilizando delineamentos estatísticos adequados para garantir rigor experimental.

ENSAIO I – SELEÇÃO DE ESTIRPES BACTERIANAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO A PARTIR DA INOCULAÇÃO EM MILHO CRIOULO

3.1 PREPARO DO INOCULANTE

As estirpes bacterianas utilizadas neste experimento foram previamente isoladas e caracterizadas por Amorim *et al.* (2022), conforme especificado na Tabela 1, com base em critérios fenotípicos e genotípicos associados à promoção de crescimento vegetal. Para reativação, as estirpes foram cultivadas em meio de cultura YM (Yeast Extract Mannitol), conforme protocolo de Vincent (1970), composto por extrato de levedura (0,4 g), manitol (5,0 g), $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0,2 g), KH_2PO_4 (0,5 g), NaCl (0,1 g) e pH ajustado para 6,8. As culturas foram incubadas a 28 ± 2 °C sob agitação constante (150 rpm) por 48 horas, sendo posteriormente avaliada a pureza por repicagem em placas de Petri contendo o mesmo meio sólido.

Tabela 1 - Identidade dos isolados de nódulos de feijão-caupi, com base na sequência parcial do gene 9S rRNA realizada pelo programa Blastn no GenBank. Amorim *et al.*, (2022).

Isolado	Alinhamento mais significativo	Nº Acesso	(Cepa de Referência)
	identidade (%) pelo NCBI, Genbank	do GenBank	
BSF 04	<i>Enterobacter sp.</i>	NR_117679.1	99,71
SCS 05	<i>Pseudomonas sp.</i>	NR_116904.1	99,12
AL 06	<i>Enterobacter sp.</i>	NR_117679.1	99,85
SMI 05	<i>Priestia megaterium</i>	NR_116873.1	99,86
SAA 02	<i>Rhizobium sp.</i>	NR_102511.1	100,00
VSA 03	<i>Brevibacillus agri</i>	NR_113767.1	99,71
AS 01	<i>Enterobacter sp.</i>	NR_102794.2	99,70
AC 03	<i>Pseudomonas sp.</i>	NR_156986.1	100,00
ZMI 01	<i>Bacillus subtilis</i>	NR_102783.2	99,86

Fonte: própria do autor, 2025.

A solução contendo dois litros de meio de cultura foi distribuída em oito frascos erlenmeyer de 250 ml, nos quais uma alíquota de cada estirpe bacteriana foi repicada

aspticamente. Os frascos foram então incubados em agitador orbital do tipo shaker, à temperatura constante de 28 °c, com rotação de 220 rpm, durante 72 horas, até que se observasse a turvação do meio, indicativa do crescimento bacteriano. Após o período de incubação, os cultivos bacterianos foram armazenados sob refrigeração em câmara B.O.D. a 4 °c, permanecendo em condições ideais para posterior utilização nos ensaios experimentais.

3.2 PREPARO DO SOLO E DESINFESTAÇÃO DAS SEMENTES

Como substrato foi utilizada areia grossa, lavada com água corrente, peneirada em malha de 3 mm e submetida à autoclavagem (1 h a 121 °c) por três dias consecutivos com intervalo de 24 horas entre as autoclavagens, a fim de garantir esterilização eficiente. As sementes de milho foram selecionadas quanto à uniformidade e ausência de danos mecânicos. Em seguida, foram desinfestadas com álcool 70% (5 minutos), imersas em hipoclorito de sódio a 2% (3 minutos), enxaguadas sete vezes com água destilada autoclavada e deixadas para secagem à temperatura ambiente, conforme protocolo de Vincent (1970).

Figura 1 - Preenchimento dos copos com solo estéril.



Fonte: Própria do Autor, 2024.

Figura 2 - Desinfestação das sementes com Hipoclorito de sódio a 2% e álcool 70%.



Fonte: Própria do Autor, 2024.

3.3 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO ESTATÍSTICO

O delineamento experimental foi do tipo inteiramente casualizado (DIC), adotando-se um esquema fatorial triplo ($3 \times 9 \times 3 + 3$), totalizando 108 unidades experimentais. Os fatores considerados foram: três cultivares crioulas de milho cultivadas na região de Pedro II-PI (Tabela 2), nove isolados bacterianos promotores de crescimento, e três repetições. Foram incluídas três testemunhas: uma testemunha absoluta (TA) sem adição de nitrogênio e sem inoculação bacteriana; e duas testemunhas nitrogenadas, que receberam 50% (50 kg ha^{-1}) e 100% (100 kg ha^{-1}) da dose recomendada de nitrogênio, respectivamente, na forma de ureia. Cada unidade experimental foi representada por um copo plástico com capacidade para 750 mL contendo areia autoclavada e inoculado ou adubado conforme o tratamento.

Tabela 2 - Composição dos tratamentos do esquema fatorial do experimento em casa de vegetação localizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí.

Cultura	Tratamento	Cultura	Tratamento	Cultura	Tratamento
M1	Iso 1º	M2	Iso 1º	M3	Iso 1º
M1	Iso 2º	M2	Iso 2º	M3	Iso 2º
M1	Iso 3º	M2	Iso 3º	M3	Iso 3º
M1	Iso 4º	M2	Iso 4º	M3	Iso 4º
M1	Iso 5º	M2	Iso 5º	M3	Iso 5º
M1	Iso 6º	M2	Iso 6º	M3	Iso 6º
M1	Iso 7º	M2	Iso 7º	M3	Iso 7º
M1	Iso 8º	M2	Iso 8º	M3	Iso 8º
M1	Iso 9º	M2	Iso 9º	M3	Iso 9º
M1	TN	M2	TN	M3	TN
M1	TN 50%	M2	TN 50%	M3	TN 50%
M1	TA	M2	TA	M3	TA

Fonte: Própria do Autor.

3.4 CULTIVO DAS PLANTAS

O cultivo das plantas foi conduzido em copos plásticos com capacidade de 750 mL, preenchidos com $0,7 \text{ dm}^3$ de areia previamente esterilizada em autoclave e com pH ajustado para 6,5, garantindo condições adequadas de cultivo. Para o estabelecimento inicial, foram semeadas três sementes de milho por unidade experimental. Para o

estabelecimento inicial, foram semeadas três sementes de milho crioulo por unidade experimental e adicionado 2 mL do inoculante bacteriano em cada semente (figura 3). Aos 15 dias após a emergência (DAE), realizou-se o desbaste, mantendo-se uma única planta vigorosa por copo, a fim de padronizar o estande por tratamento.

Durante todo o período experimental, as plantas foram irrigadas diariamente com solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950), modificada para atender às exigências de leguminosas e formulada sem a adição de nitrogênio. A solução foi aplicada na proporção de 1 mL por kg de substrato, sete vezes por semana, visando garantir o suprimento equilibrado dos demais nutrientes (figura 5). O experimento foi conduzido sob condições controladas em ambiente de crescimento, com temperatura média de 28 ± 2 °C, fotoperíodo de 12 horas de luz e umidade relativa variando entre 60% e 70%. As plantas permaneceram em cultivo por 40 dias após a semeadura (DAS), período durante o qual foram realizadas as avaliações morfofisiológicas, conforme descrito nos parâmetros indicadores de crescimento.

Figura 3 - Inoculação.



Fonte: Própria do Autor, 2024.

Figura 4 - Plantas de milho.



Fonte: Própria do Autor, 2024

3.5 AVALIAÇÕES

3.5.1 parâmetros indicadores de crescimento

As variáveis morfológicas da parte aérea analisadas neste experimento incluíram: altura das plantas, diâmetro do colmo e número de folhas. A altura das plantas foi determinada com o auxílio de uma régua graduada, medindo-se a distância do colo até a inserção da folha +1, conforme metodologia padronizada para a espécie avaliada. O diâmetro do colmo foi aferido na base, próxima ao colo da planta, utilizando-se um paquímetro digital de alta precisão. Já o número de folhas foi obtido por contagem visual

direta, considerando-se apenas as folhas completamente expandidas e fisiologicamente ativas.

Complementarmente, ao final do ciclo experimental, foram avaliadas variáveis relacionadas ao sistema radicular e à biomassa. O comprimento da raiz foi mensurado com régua milimetrada, do colo até a extremidade da raiz principal. Para a estimativa do volume radicular, o sistema radicular previamente lavado foi imerso em uma proveta com volume conhecido de água; a diferença entre o volume final e o inicial indicou o volume deslocado, correspondente ao volume da raiz.

A biomassa seca foi obtida após a separação dos componentes da planta (raízes, colmos e folhas), os quais foram acondicionados em sacos de papel e submetidos à secagem em estufa com circulação de ar forçada a 65 °C até atingirem massa constante. A pesagem foi realizada em balança analítica de precisão, permitindo a quantificação da massa seca de cada órgão vegetal individualmente.

Figura 5 - Avaliação de CPA e CPR



Fonte: Própria do Autor, 2024.

Figura 6 - Avaliação dos parâmetros de crescimento.



Fonte: Própria do Autor, 2024.

ENSAIO II – VALIDAÇÃO E SELEÇÃO DE ISOLADOS BACTERIANOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO E FIXADORES DE NITROGÊNIO EM MILHO CRIULO EM CONDIÇÕES DE CASA DE VEGETAÇÃO EM COMPETIÇÃO COM OS MICROORGANISMOS NATIVOS

3.5.2 condução do experimento

O segundo experimento teve como objetivo avaliar a eficácia de estirpes bacterianas previamente selecionadas no Ensaio I quanto à promoção do crescimento do milho crioulo, sob condições de solo não esterilizado, contendo microbiota nativa. Essa abordagem permitiu verificar a capacidade competitiva das bactérias inoculadas em relação aos microrganismos do solo, bem como avaliar seu potencial de atuação complementar à adubação nitrogenada mineral.

Para a condução do ensaio, amostras de solo foram coletadas em cinco transectos distribuídos em uma área com histórico de cultivo de milho, no município de Pedro II, Piauí. As amostras foram homogeneizadas para formar um composto representativo, o qual foi utilizado como substrato sem esterilização, a fim de preservar a comunidade microbiana nativa. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, situada na área experimental do Instituto Federal do Piauí (IFPI), campus Pedro II, localizado nas coordenadas geográficas 4°26'56.1"S e 41°27'28.7"W.

3.5.3 tratamentos e delineamento estatístico

Os tratamentos do segundo experimento consistiram na inoculação das cinco estirpes bacterianas mais promissoras identificadas no Ensaio I, aplicadas a três cultivares de milho crioulo provenientes do município de Pedro II-PI. A seleção dessas estirpes foi baseada na performance anterior em promover o crescimento vegetal, com ênfase na sua capacidade de interação simbiótica, estimulação morfofisiológica e compatibilidade genotípica com os cultivares testados.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), estruturado em esquema fatorial 3×8 (Tabela 3), sendo o primeiro fator representado pelas três cultivares de milho crioulo e o segundo fator composto pelas cinco estirpes bacterianas selecionadas, além de três tratamentos controle (incluindo testemunhas absolutas e nitrogenadas). Cada combinação experimental foi repetida três vezes, totalizando 72 unidades experimentais.

Tabela 3 - Composição dos tratamentos do esquema fatorial do experimento em casa de vegetação.

Cultura	Tratamento	Cultura	Tratamento	Cultura	Tratamento
M1	Iso 1º	M2	Iso 1º	M3	Iso 1º
M1	Iso 2º	M2	Iso 2º	M3	Iso 2º
M1	Iso 3º	M2	Iso 3º	M3	Iso 3º
M1	Iso 4º	M2	Iso 4º	M3	Iso 4º
M1	Iso 5º	M2	Iso 5º	M3	Iso 5º
M1	TN	M2	TN	M3	TN
M1	TN 50%	M2	TN 50%	M3	TN 50%
M1	TA	M2	TA	M3	TA

Fonte: Própria do Autor.

3.5.4 preparo do inoculante, adubação, plantio, cultivo e avaliações

Para o preparo dos inoculantes, cada estirpe bacteriana previamente selecionada foi cultivada individualmente em meio líquido YM, conforme o protocolo descrito no ensaio I. Após atingir a fase de turvação adequada, as culturas foram mantidas sob refrigeração até o momento da inoculação.

O experimento foi conduzido em vasos plásticos com capacidade de 3,5 litros, preenchidos com 15 dm³ de solo coletado em áreas cultivadas com milho no município de Pedro II-PI. O solo não foi esterilizado, de modo a preservar sua microbiota natural, permitindo a avaliação da competitividade das estirpes inoculadas frente aos microrganismos nativos.

As sementes utilizadas foram submetidas à desinfestação superficial com álcool etílico a 70% por 5 minuto, seguidas de imersão em solução de hipoclorito de sódio a 2–2,5% por 3 minutos, e enxaguadas em água destilada estéril por sete vezes consecutivas. Após o preparo, três sementes foram semeadas por vaso, para o estabelecimento inicial, foram semeadas três sementes e adicionado 2 mL do inoculante bacteriano em cada semente, sendo realizado desbaste aos 15 dias após a emergência (DAE), mantendo-se apenas uma planta por vaso. Todas as unidades experimentais foram irrigadas diariamente com solução nutritiva de Hoagland modificada, isenta de nitrogênio, na proporção de 1 ml por kg de solo, durante sete dias por semana. As testemunhas seguiram o mesmo manejo nutricional, mas não receberam inoculação bacteriana. As plantas permaneceram sob cultivo em casa de vegetação por um período mínimo de 40 dias, sob condições controladas de

temperatura, fotoperíodo e umidade relativa. Durante esse período e ao final do experimento, foram realizadas avaliações dos parâmetros de crescimento conforme descrito no item 3.5.

Figura 7 - Inoculação da bactéria nas sementes.



Fonte: Própria do Autor, 2024.

Figura 8 - Plantas de milho em ensaio com bactérias aos 28 dias de experimento.



Fonte: Própria do Autor, 2024.

Figura 9 - Avaliação de CPR



Fonte: Própria do Autor, 2025.

3.5.5 análise estatística

Os dados obtidos em cada etapa experimental foram inicialmente submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk, com o objetivo de verificar a distribuição dos resíduos. Para as variáveis que atenderam ao critério de normalidade ($p > 0,05$), procedeu-se à análise de variância (ANOVA) pelo teste F, adotando-se um nível de significância de 5%.

As análises estatísticas foram realizadas no ambiente Rstudio (versão 4.5.1), com posterior comparação entre as médias por meio do teste de Tukey, também ao nível de 5% de probabilidade, a fim de identificar diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A inoculação com isolados bacterianos influenciou significativamente o crescimento do milho, com efeitos variando entre parâmetros morfológicos e em comparação às testemunhas com e sem adubação nitrogenada. A análise de variância (ANOVA) do comprimento da parte aérea (CPA) com base nas Tabelas 4 e 5 (Anexo 1), evidenciou, de forma consistente nos dois ensaios, efeitos estatisticamente significativos dos fatores variedade e bactéria, bem como da interação variedade*bactéria, confirmando que o crescimento do milho depende simultaneamente do genótipo e da estirpe inoculada. No Ensaio II, variedade (FC = 134,822; $p < 0,00001$), bactéria (FC = 47,178; $p < 0,00001$) e interação (FC = 3,127; $p = 0,00178$) foram significativas, indicando que, mesmo sob competição da microbiota nativa, a resposta depende da combinação planta–microrganismo.

Em termos de desempenho biológico, a estirpe B9 (*Bacillus subtilis*) foi a que exibiu maiores valores médios de CPA em todas as variedades no Ensaio II (gráfico 1). A superioridade de *B. subtilis* é coerente com seu conjunto multifuncional de mecanismos: síntese de fitormônios (p.ex., AIA), sideróforos, enzimas hidrolíticas, antibióticos e formação de biofilmes que favorecem colonização estável da rizosfera e proteção contra fitopatógenos, desde a germinação até estádios vegetativos avançados (Lazaretti e Bettiol, 1997; Araújo *et al.*, 2005; Araújo, 2008; Calvo *et al.*, 2010; Chowdhry *et al.*, 2018; Chowdhry *et al.*, 2023; Vasques *et al.*, 2024).

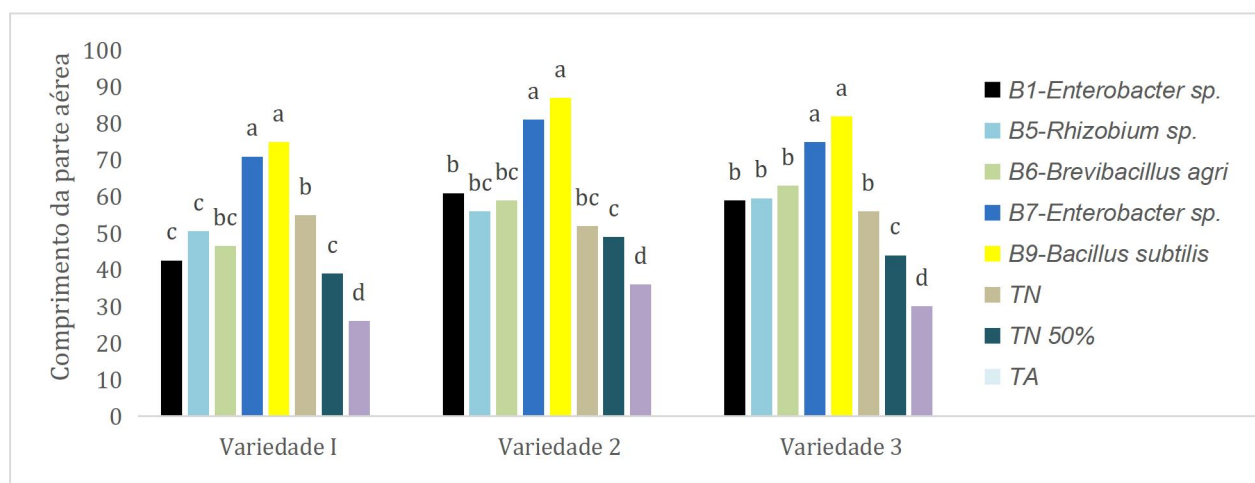
B7 (*Enterobacter sp.*) destacou-se no Ensaio II, com ganhos de CPA comparáveis ou superiores à TN, sustentados por colonização rizosférica/endofítica, FBN, solubilização de P e produção de fitormônios (Jha *et al.*, 2011; Montañez *et al.*, 2012; Otieno *et al.*, 2015; Santos e Santos, 2022; Fonseca *et al.*, 2022). Outras estirpes mostraram efeito contexto-dependente: B5 (*Rhizobium sp.*) e B6 (*Brevibacillus agri*) apresentaram ganhos de CPA sob substrato esterilizado (Ensaio I), coerentes com FBN associativa, solubilização de P/K e produção de reguladores de crescimento, mas perderam

competitividade no solo com microbiota ativa (Ensaio II), o que é consistente com a maior especificidade simbiótica em leguminosas (*Rhizobium*) e com limitações de colonização/competição em *Brevibacillus* (Hossain e Martensson, 2008; Osório Filho *et al.*, 2016; Dartora *et al.*, 2016; Edwards e Seddon, 2001; Mehta *et al.*, 2010; Almeida *et al.*, 2022; Santos *et al.*, 2023). Em menor desempenho B1 (*Enterobacter* sp.) seguiu padrão semelhante ao de B6 no Ensaio II.

A magnitude dos ganhos variou entre as variedades e mantiveram respostas com *B. subtilis* e *Enterobacter* no Ensaio II, ao passo que a variedade 3 foi menos responsiva, destacando a compatibilidade planta–microrganismo e interações bioquímicas/genéticas como determinantes da eficácia (Bécquer *et al.*, 2011; Hahn *et al.*, 2013; Araújo, 2008). Esses achados reforçam a seleção dirigida do par genótipo– estirpe como estratégia para maximizar efeitos agronômicos.

Fisiologicamente, o aumento do CPA reflete sinalização hormonal (AIA/citocininas), melhor mobilização/absorção de nutrientes e colonização rizosférica eficiente, processos que ampliam a área fotossintética e a capacidade de assimilação. Agronomicamente, maiores CPA se traduzem em vigor vegetativo, potencial produtivo e maior aproveitamento de recursos. Do ponto de vista ambiental e econômico, os resultados com B9 e B7 indicam potencial de redução da dose de N mineral sem perda de desempenho, mitigando lixivação de nitratos e emissões, e favorecendo a viabilidade de bioinsumos em sistemas convencionais e agroecológicos (Aquino, 2019; Backer *et al.*, 2018; Verma *et al.*, 2019; Adesemoye *et al.*, 2009; Hungria *et al.*, 2022).

Gráfico 1 - Comprimento da parte aérea de plantas de milho crioulo inoculadas com isolados de bactérias promotoras de crescimento vegetal. As médias foram submetidas à análise de variância e comparadas por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$).



Fonte: Própria do Autor, 2025.

No Ensaio II, a ANOVA apontou efeito significativo de variedade ($p < 0,0001$) e da interação variedade*bactéria ($p < 0,05$), enquanto o efeito de bactéria variou entre genótipos, resultado coerente com respostas dependentes de combinação planta–microrganismo. A precisão experimental e a normalidade dos resíduos foram adequadas em ambos (Tabela 6 e 7/Anexo 1). Em síntese, nos dois ensaios a inoculação elevou o CPR, mas a magnitude do ganho foi genótipo-dependente, como também sustentam estudos prévios (Fukami *et al.*, 2018; Mendes *et al.*, 2013; Mahapatra *et al.*, 2024).

A estirpe B9 (*Bacillus subtilis*) apresentou os maiores CPR nos dois ambientes, chegando a ~90 cm na variedade 3 (gráfico 2). A robustez de *B. subtilis* é atribuída à formação de endósporos e à síntese de AIA, sideróforos e enzimas extracelulares, além da indução de resistência sistêmica, o que sustenta colonização efetiva e resiliência a estresses tanto em substrato esterilizado quanto em solo com microbiota ativa (Lopes *et al.*, 2021; Calvo *et al.*, 2017; Chowdhry *et al.*, 2023; Liu *et al.*, 2023).

B7 teve desempenho genótipo-dependente (var. 3 mais responsiva), o que coaduna com a modulação da colonização pela exsudação radicular (Kavamura *et al.*, 2013; Rajkumar *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2022; Souza *et al.*, 2023). B6 e B5 também geraram ganhos, ancorados em enzimas extracelulares, sideróforos e FBN (Fukami *et al.*, 2018; Medeiros *et al.*, 2020; Shahid *et al.*, 2021; Rajkumar *et al.*, 2018). Os incrementos, entretanto, foram de menor magnitude quando comparados aos de B9 e aos picos observados com B7 em genótipos mais responsivos.

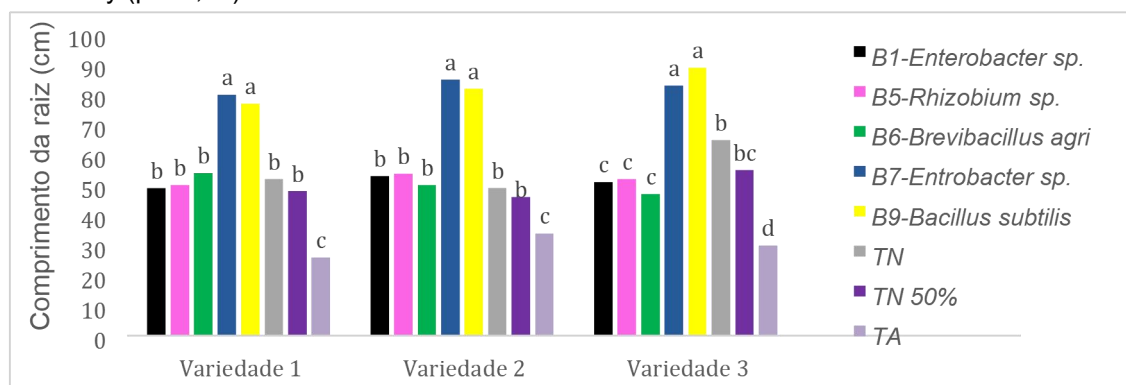
No Ensaio II, a competição com a microbiota nativa tornou a resposta mais seletiva, favorecendo estirpes ecologicamente mais plásticas (e.g., B9) e combinações específicas planta–microrganismo (e.g., B7 × variedade 3).

Fisiologicamente, o aumento do CPR expande a prospecção de água e nutrientes, incrementa a área de absorção e melhora a resiliência hídrica, efeitos ligados à regulação por auxinas, à FBN e à solubilização de fósforo, além da melhoria estrutural do solo por EPS e do efeito de sideróforos sobre a disponibilidade de micronutrientes (Fukami *et al.*, 2018; Mendes *et al.*, 2013; Mahapatra *et al.*, 2024; Medeiros *et al.*, 2020; Shahid *et al.*, 2021; Rajkumar *et al.*, 2018).

Agronomicamente, maior CPR eleva a eficiência de uso de insumos, estabiliza a produção perante variações edafoclimáticas e reduz a dependência de fertilizantes, com ganhos diretos em vigor e produtividade. De modo amplo, tais efeitos alinhados à

sustentabilidade permitem mitigar lixivação de nitratos e emissões associadas ao uso intensivo de N mineral, favorecendo a adoção de bioinsumos como parte de um manejo nutricional mais eficiente (Backer *et al.*, 2018; Verma *et al.*, 2019).

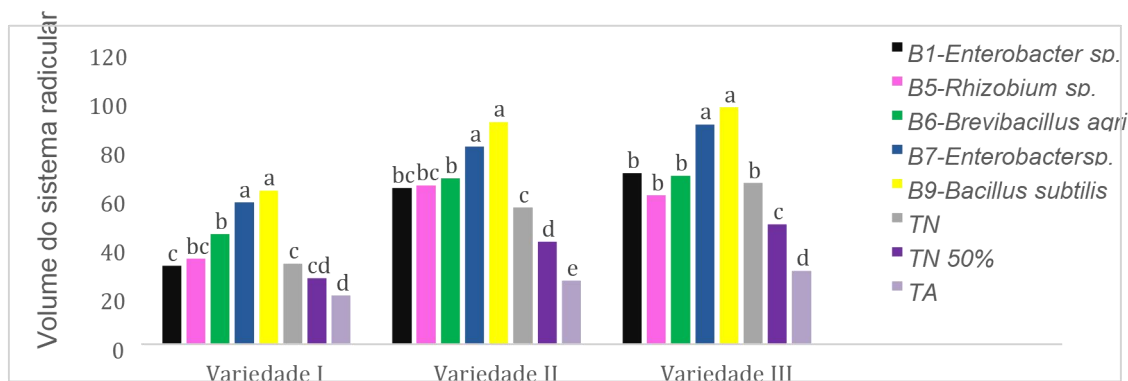
Gráfico 2 - Comprimento da raiz de plantas de milho crioulo inoculadas com isolados de bactérias promotoras de crescimento vegetal. As médias foram submetidas à análise de variância e comparadas por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$).



Fonte: Própria do Autor, 2025.

No Ensaio II, com base na Tabela 9 (Anexo 1), a ANOVA identificou que o padrão se intensificou: variedade (FC = 167,581; $p < 0,00001$), bactéria (FC = 277,115; $p < 0,00001$) e interação (FC = 4,831; $p = 0,00002$) foram significativas, com alta precisão (CV = 7,67%). Novamente B9 se destacou (gráfico 3), atingindo ~100 mL de VR na variedade III, desempenho superior a todas as testemunhas, inclusive à adubação nitrogenada. Esse resultado reforça a plasticidade funcional de *B. subtilis* frente à microbiota residente (Hungria *et al.*, 2010; Compant *et al.*, 2021). B7 (*Enterobacter sp.*) também promoveu aumentos expressivos de VR, embora de forma genótipo-dependente, sobretudo em genótipos mais responsivos, efeito associado a mecanismos promotores de crescimento (Verma *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2022). Em contraste, estirpes como B3 e B4 não diferiram das testemunhas, sugerindo menor afinidade com os genótipos avaliados e/ou limitações de colonização (Mahapatra *et al.*, 2024).

Gráfico 3 - Volume radicular de plantas de milho crioulo inoculadas com isolados de bactérias promotoras de crescimento vegetal. As médias foram submetidas à análise de variância e comparadas por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$).



Fonte: Própria do Autor, 2025.

A leitura integrada dos dois ambientes indica que B9 apresenta consistência e magnitude de efeito superiores, enquanto B7 exibe alta eficácia em genótipos responsivos. A superioridade frente às testemunhas (TA, TN 50% e TN) confirma que a bioinoculação pode superar ou complementar a adubação nitrogenada, elevando a eficiência de uso de nutrientes e a resiliência hídrica (Hungria *et al.*, 2010; Lugtenberg e Kamilova, 2009).

Os ganhos de VR derivam de AIA, EPS, sideróforos e ISR em *B. subtilis* (Backer *et al.*, 2018; Egamberdieva *et al.*, 2017; Kumar *et al.*, 2021) e de FBN, fitormônios e solubilização de P em *Enterobacter* (Verma *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2022), resultando em maior emissão de raízes laterais e engrossamento radicular. Do ponto de vista agrônomo, maior VR melhora a captação de água e nutrientes, confere estabilidade sob déficit hídrico e sustenta ganhos de biomassa; sob a ótica ambiental, viabiliza redução do uso de fertilizantes, mitigando lixiviação de nitratos e emissões (Glick, 2012; Souza *et al.*, 2023).

A análise de variância (ANOVA) confirmou que o acúmulo de massa seca da parte aérea foi influenciado simultaneamente pelo genótipo, pelos isolados bacterianos e pela interação planta–microrganismo em ambos os experimentos. No Ensaio II (solo com microbiota ativa), os efeitos também foram significativos para variedade (FC = 72,769; $p < 0,00001$), bactéria (FC = 5,298; $p = 0,00850$) e interação (FC = 2,166; $p = 0,02498$), com CV = 14,52% e resíduos normais ($p = 0,2298$). Esses resultados reforçam que tanto os fatores isolados quanto suas interações modulam de forma decisiva o desempenho da cultura.

Os valores médios apresentados nos gráficos dos dois ensaios corroboraram esses achados, revelando diferenças expressivas entre os tratamentos com distintas

estirpes bacterianas (B1 a B9). Em ambos os ambientes, destacaram-se as estirpes B9 (*Bacillus subtilis*) e B7 (*Enterobacter* sp.), que promoveram incrementos consistentes de MSPA em praticamente todas as variedades avaliadas (gráfico 4).

A superioridade desses tratamentos em relação às testemunhas, incluindo o manejo tradicional com fertilização nitrogenada parcial (TN 50%), evidencia o potencial das inoculações bacterianas para substituir parcial ou complementar o uso de fertilizantes minerais. Tal efeito é agronomicamente relevante, pois pode reduzir custos de produção e mitigar impactos ambientais associados à lixiviação de nitratos e à emissão de gases de efeito estufa (Adesemoye *et al.*, 2009; Hungria *et al.*, 2022).

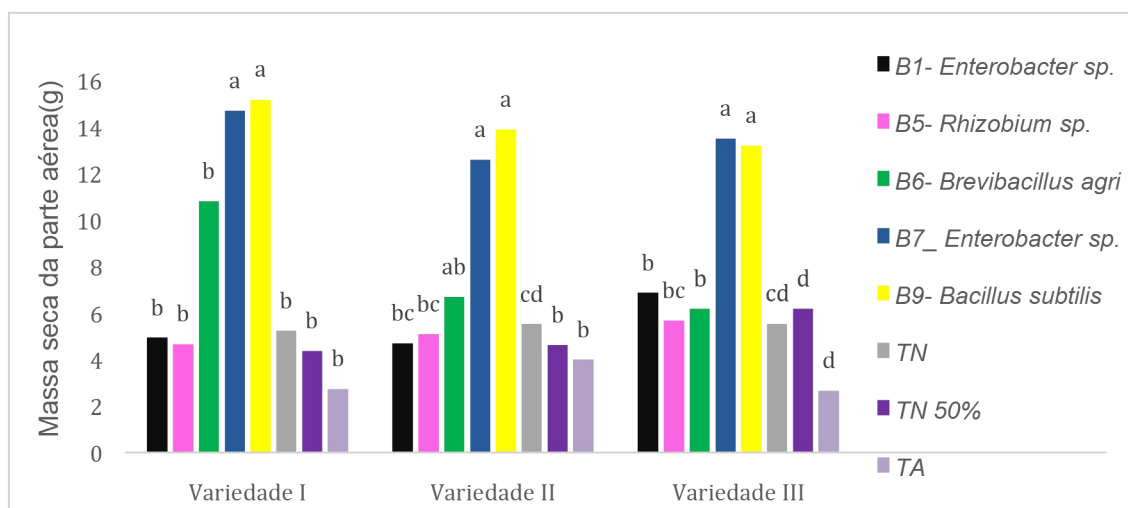
O gênero *Enterobacter* é amplamente descrito como promotor de crescimento vegetal, onde a partir de seus processos promotores estimulam a expansão foliar, aumentam a área fotossintética e favorecem o acúmulo de biomassa aérea (Ahemad e Kibret, 2014; Majeed *et al.*, 2018). Tais atributos explicam o vigor observado nas plantas inoculadas com B7, refletido em maior acúmulo de matéria seca e em ganhos consistentes de MSPA, especialmente em variedades mais responsivas (Souza *et al.*, 2023; Bashan *et al.*, 2020).

De forma semelhante, *Bacillus subtilis* (B9) reafirmou seu papel de destaque como rizobactéria promotora de crescimento (gráfico 4). No presente estudo, o isolado B9 alcançou os maiores valores de MSPA em todas as variedades avaliadas, desempenho que confirma relatos anteriores de Guimarães *et al.* (2020), EMBRAPA Milho e Sorgo (2021) e Ferreira *et al.* (2021), que associam *B. subtilis* ao estímulo da biossíntese de AIA, à maior absorção de fósforo e ao consequente incremento de biomassa aérea. Estudos recentes corroboram esse papel, indicando que *B. subtilis* favorece tanto o crescimento vegetativo quanto a resiliência fisiológica da planta (Liu *et al.*, 2023).

A consistência dos resultados em diferentes genótipos e condições experimentais sugere que os efeitos benéficos de B9 e B7 não estão restritos a ambientes simplificados, mas também se expressam em solos com microbiota nativa, condição indispensável para o sucesso de bioinoculantes comerciais. Além disso, a interação significativa variedade*bactéria reforça que a escolha dos genótipos mais responsivos é determinante para maximizar os efeitos da inoculação, corroborando observações de Mahapatra *et al.* (2024). Esse padrão também foi reportado por Santos *et al.* (2018), Almeida *et al.* (2020),

Souza *et al.* (2023) e Bashan *et al.* (2020), que destacam a importância da compatibilidade genético-microbiana na eficácia de PGPB.

Gráfico 4 - Massa seca da parte aérea de plantas de milho crioulo inoculadas com isolados de bactérias promotoras de crescimento vegetal. As médias foram submetidas à análise de variância e comparadas por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$).



Fonte: Própria do Autor, 2025.

A análise de variância (ANOVA) referente à massa seca da raiz (MSR) evidenciou que o desenvolvimento radicular do milho foi influenciado de maneira significativa pelo genótipo, pelos isolados bacterianos e pela interação entre ambos, embora com variações entre os ensaios. No ensaio II, houve efeito forte para variedade ($FC = 109,177$; $p < 0,00001$) e para a interação variedadesx bactéria ($FC = 3,300$; $p = 0,00112$), enquanto o efeito isolado de bactéria não foi significativo ($FC = 1,920$; $p = 0,15824$). O CV foi de 15,86% e a normalidade dos resíduos validada ($p = 0,1240$). Esses resultados demonstram que, em condições controladas, múltiplas estirpes expressaram seu potencial, mas em solo com microbiota nativa, a resposta depende fortemente da compatibilidade entre genótipo e microrganismo.

Nos dois ensaios, a estirpe B9 (*Bacillus subtilis*) destacou-se de maneira consistente em todas as variedades avaliadas, alcançando os maiores valores de MSR (gráfico 5). Seu desempenho superior pode ser explicado pela ampla plasticidade funcional, incluindo a capacidade de formar endósporos, o que confere elevada resistência ambiental, e a produção de metabólitos bioativos como o ácido indolacético (AIA), que estimula o alongamento celular e a expansão radicular (Calvo *et al.*, 2014; Lopes *et al.*, 2021).

Adicionalmente, a síntese de exopolissacarídeos e a solubilização de fósforo favorecem a estruturação da rizosfera e a absorção de nutrientes essenciais (Lugtenberg e Kamilova, 2009; Hungria *et al.*, 2010). Essa versatilidade funcional explica a consistência dos resultados, inclusive em solos com microbiota nativa, confirmando seu potencial como bioinoculante de uso amplo e robusto (Carvalho *et al.*, 2019).

A estirpe B6 (*Brevibacillus agri*) também apresentou efeitos positivos relevantes, sobretudo nas variedades I e II. Seus mecanismos incluem a produção de sideróforos e enzimas extracelulares que contribuem para a solubilização de nutrientes e para a proteção contra patógenos radiculares (Medeiros *et al.*, 2020; Shahid *et al.*, 2021). Essa atuação multifuncional torna a B6 uma estirpe promissora para sistemas agrícolas que buscam maior eficiência nutricional e redução do uso de insumos químicos, confirmando seu potencial de aplicação em bioinoculantes sustentáveis.

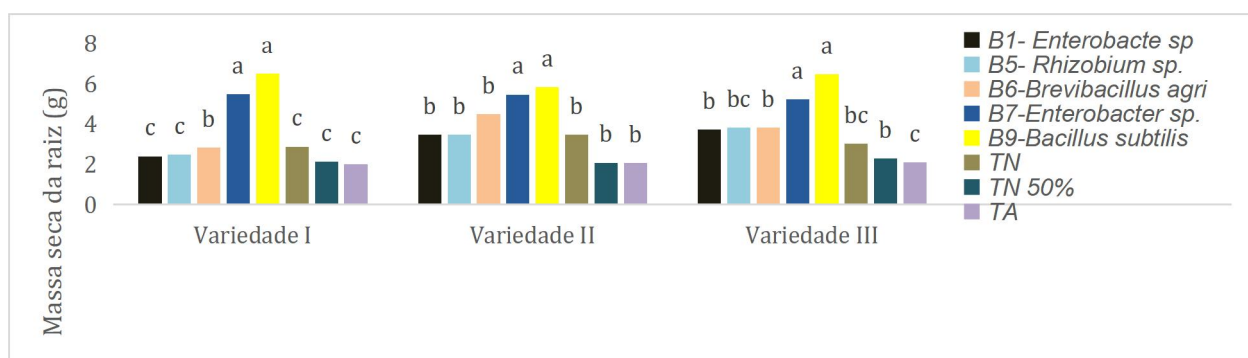
A estirpe B7 (*Enterobacter* sp.) mostrou comportamento mais variável: em alguns genótipos (especialmente os mais responsivos) exibiu resultados comparáveis a B9, enquanto em outros teve desempenho mais limitado. Essa oscilação reflete a influência do perfil de exsudação radicular sobre a colonização microbiana e a expressão funcional (Kavamura *et al.*, 2013; Rajkumar *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2022; Souza *et al.*, 2023). Ainda assim, B7 superou os controles em diversas combinações, confirmando potencial agrônomo quando há compatibilidade planta–microrganismo.

Do ponto de vista fisiológico, os incrementos de MSR estão associados a mecanismos-chave descritos na literatura: produção de auxinas e citocininas, que estimulam alongamento e ramificação radicular; fixação biológica de nitrogênio; solubilização de fósforo; secreção de exopolissacarídeos, que melhoram a estrutura física do solo; e produção de sideróforos, que aumentam a absorção de nutrientes (Egamberdieva *et al.*, 2017; Shahzad *et al.*, 2021; Yadav *et al.*, 2023). A combinação de estirpes com diferentes mecanismos, como B9 e B7, pode potencializar os efeitos benéficos sobre o acúmulo de biomassa radicular e total, ampliando o desempenho agrônomo.

Do ponto de vista agrônomo, maior MSR significa um sistema radicular mais extenso e profundo, capaz de explorar maior volume de solo, aumentando a estabilidade hídrica e a absorção mineral. Isso se traduz em maior eficiência de uso de nutrientes e maior resiliência das plantas frente a estresses ambientais, com reflexos positivos sobre a

produtividade (Hungria *et al.*, 2010; Carvalho *et al.*, 2019). Do ponto de vista sustentável, os resultados reforçam que bioinoculantes como B9, B6 e B7 não apenas complementam, mas podem até substituir parcialmente a adubação nitrogenada, reduzindo custos de produção e mitigando impactos ambientais associados ao uso intensivo de fertilizantes químicos (Egamberdieva *et al.*, 2022).

Gráfico 5 - Massa seca da raiz de plantas de milho crioulo inoculadas com isolados de bactérias promotoras de crescimento vegetal. As médias foram submetidas à análise de variância e comparadas por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$).



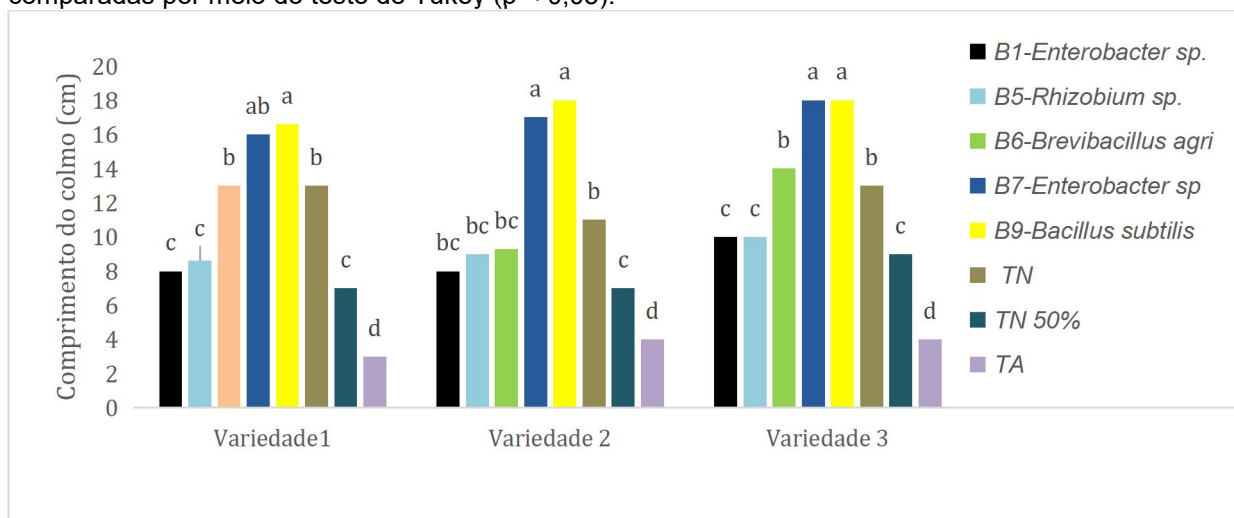
Fonte: Própria do Autor, 2025.

A análise de variância (ANOVA) referente ao comprimento do colmo (CC) do milho revelou comportamentos distintos nos dois ensaios conduzidos, evidenciando a influência tanto do genótipo das plantas quanto das condições ambientais e da presença da microbiota do solo sobre a resposta aos isolados bacterianos.

No Ensaio II efeito significativo para variedade (FC = 125,590; $p < 0,00001$), bactéria (FC = 10,697; $p = 0,00015$) e interação variedade*bactéria (FC = 2,072; $p = 0,03237$). O teste de Shapiro-Wilk confirmou a adequação do modelo ($p = 0,1411$), e o CV foi compatível com a precisão experimental.

Nesse cenário mais complexo, o efeito da inoculação bacteriana se manifestou de forma clara, com os isolados B9 (*B. subtilis*) e B7 (*Enterobacter sp.*) promovendo os maiores valores médios de CC, com médias próximas a 18 cm (Gráfico 6). Esses incrementos foram particularmente expressivos na Variedade 3, sugerindo maior plasticidade genética e melhor arquitetura radicular que favoreceram a colonização bacteriana (Compant *et al.*, 2021). As variedades 1 e 2 também responderam positivamente, embora em menor magnitude, ainda assim superando os controles absolutos.

Gráfico 6 - Comprimento do colmo de plantas de milho crioulo inoculadas com isolados de bactérias promotoras de crescimento vegetal. As médias foram submetidas à análise de variância e comparadas por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$).



Fonte: Própria do Autor, 2025.

A superioridade de B9 e B7 pode ser explicada por seus mecanismos fisiológicos e ecológicos já descritos na literatura. Em *Bacillus subtilis* esses atributos asseguram colonização estável da rizosfera e favorecem o crescimento celular e o alongamento do colmo, o que se refletiu em colmos mais longos e robustos neste estudo (Souza *et al.*, 2020). Na *Enterobacter sp.* os mecanismos estimulam a expansão dos tecidos caulinares e melhoram a absorção de nutrientes (Bhattacharyya e Jha, 2012; Lugtenberg e Kamilova, 2009; Souza *et al.*, 2019). Em contraste, outras estirpes avaliadas, como *Pseudomonas sp.*, *Rhizobium sp.*, *Priestia megaterium* e *Brevibacillus agri*, apresentaram médias inferiores para CC, sugerindo menor capacidade competitiva frente à microbiota nativa ou menor adaptação às condições edafoclimáticas do ensaio (Compant *et al.*, 2010).

As testemunhas confirmaram o papel central da inoculação. A testemunha absoluta (TA) apresentou os menores valores médios de comprimento e diâmetro de colmo, evidenciando a limitação de crescimento sem aporte nutricional. A testemunha com adubação mineral completa (TN), embora superior à TA, apresentou valores intermediários e inferiores ao desempenho de B9, sugerindo que, em determinadas condições, o uso de inoculantes microbianos pode potencializar ou até superar o efeito do fertilizante químico convencional sobre parâmetros morfológicos específicos (Hungria *et al.*, 2010).

Do ponto de vista agrônomo, esses resultados possuem grande relevância prática. Colmos mais longos e espessos, como os promovidos por B9 e B7, aumentam a

resistência ao acamamento, favorecem o transporte de água e fotoassimilados e conferem maior estabilidade às plantas frente a estresses mecânicos, reduzindo perdas produtivas e facilitando a colheita mecanizada (Backer *et al.*, 2018). Em termos de sustentabilidade, o desempenho dessas estirpes evidencia o potencial de reduzir a dependência de fertilizantes químicos e os impactos ambientais associados, consolidando-as como bioinoculantes de relevância prática e ambiental (Bhattacharyya e Jha, 2012; Kumar *et al.*, 2012; Souza *et al.*, 2019, 2020; Backer *et al.*, 2018; Hungria *et al.*, 2010).

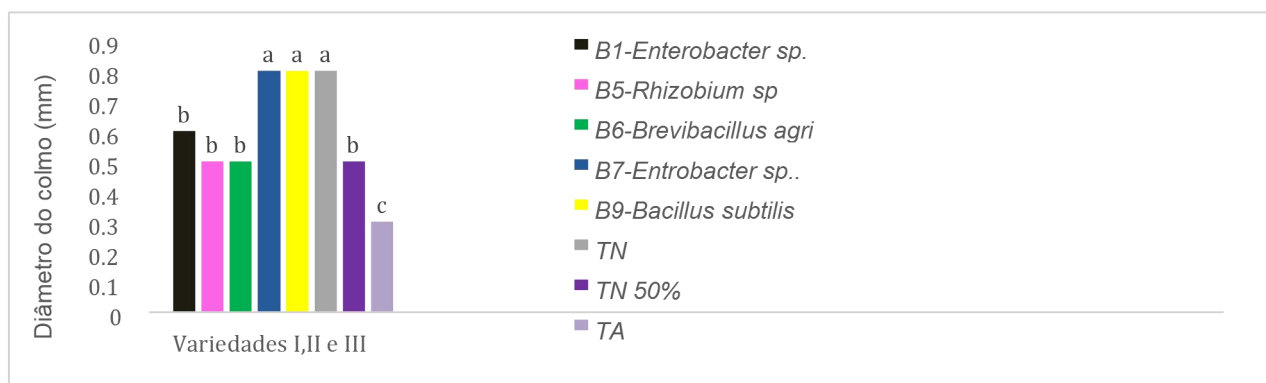
De forma integrada, os resultados dos dois ensaios demonstram que o efeito da inoculação bacteriana no comprimento do colmo depende fortemente do contexto experimental. Em substrato esterilizado, o efeito foi limitado e não significativo, mas em solo não esterilizado com microbiota ativa, B9 e B7 expressaram todo seu potencial, superando inclusive a adubação mineral em determinados parâmetros. Esses achados reforçam a importância de avaliar bioinoculantes em condições que representem a realidade agrícola, considerando tanto o genótipo da planta quanto a interação com a microbiota nativa.

A análise de variância (ANOVA) referente ao diâmetro do colmo (DC) do milho revelou padrões distintos entre os dois ensaios conduzidos, reforçando a importância de avaliar os efeitos da inoculação bacteriana tanto em condições controladas quanto em ambientes com microbiota ativa. No Ensaio II, o efeito foi significativo apenas para variedade (FC = 85,769; $p < 0,00001$). Os fatores bactéria (FC = 1,321; $p = 0,2769$) e interação (FC = 0,859; $p = 0,6047$) não apresentaram significância estatística. O CV foi de 9,65% e a normalidade confirmada ($p = 0,3686$). Apesar disso, os isolados B7 e B9 agruparam-se no estrato superior do teste de Tukey, com médias próximas de 0,8 cm, enquanto a testemunha absoluta (TA) permaneceu no grupo inferior, em torno de 0,4 cm (gráfico 7). Esses resultados, mesmo sem efeito global do fator bactéria, demonstram consistência de desempenho dessas estirpes em diferentes condições experimentais, explicada por sua plasticidade ecológica e multifuncionalidade (Egamberdieva *et al.*, 2017; Egamberdieva *et al.*, 2019; Souza *et al.*, 2021; Compant *et al.*, 2021).

Do ponto de vista agrônomo, o incremento no diâmetro do colmo possui implicações diretas sobre a produtividade do milho, uma vez que colmos mais espessos estão associados a maior capacidade de condução de água e fotoassimilados para os órgãos reprodutivos, além de oferecerem maior resistência ao acamamento e maior

estabilidade frente a ventos e chuvas, (Sangoi *et al.*, 2010; Souza *et al.*, 2015). Tais características estruturais conferem não apenas estabilidade às plantas, mas também aumentam a eficiência no enchimento de grãos, refletindo em ganhos de produtividade.

Gráfico 7 - Diâmetro do colmo de plantas de milho crioulo inoculadas com isolados de bactérias promotoras de crescimento vegetal. As médias foram submetidas à análise de variância e comparadas por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$).



Fonte: Própria do Autor, 2025.

A ausência de interação variedade*bactéria nos dois ensaios indica que os efeitos observados para B7 e B9 foram consistentes entre diferentes genótipos, o que amplia a aplicabilidade desses inoculantes a uma diversidade de cultivares comerciais, sem necessidade de ajustes específicos por híbrido. Essa generalidade é particularmente vantajosa do ponto de vista prático, pois permite maior flexibilidade ao agricultor na escolha da variedade a ser cultivada, assegurando benefícios da inoculação independentemente do material genético utilizado.

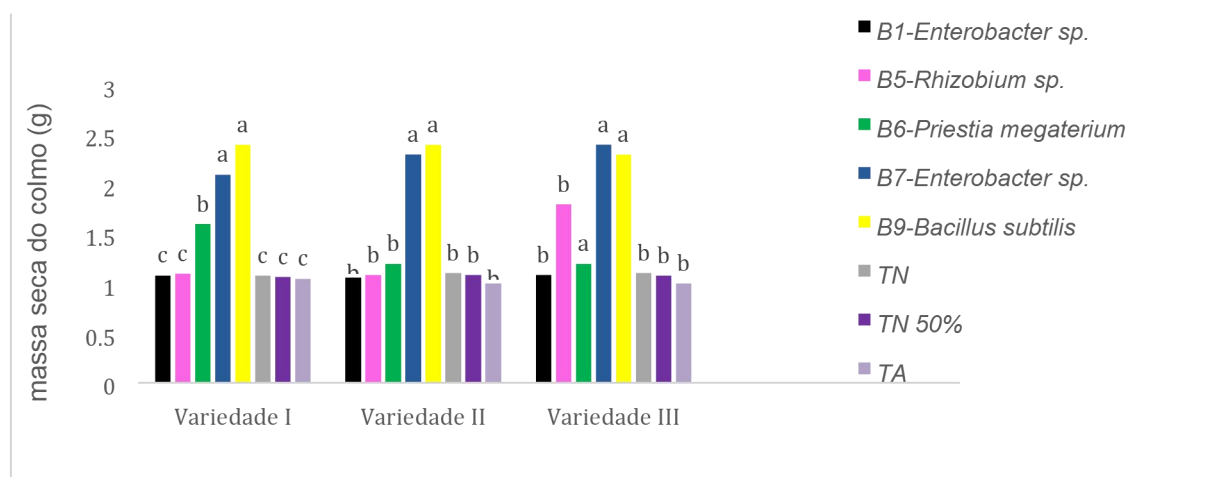
A análise de variância (ANOVA) referente à massa seca do colmo (MSC) revelou contrastes entre os dois ensaios, evidenciando a importância tanto do genótipo quanto das condições ambientais na resposta às estirpes bacterianas.

No Ensaio II houve significância para variedade ($FC = 95,359$; $p < 0,0001$), bactéria ($FC = 8,769$; $p = 0,00059$) e interação variedade*bactéria ($FC = 3,293$; $p = 0,00113$), com $CV = 12,58\%$. Nesse contexto, B9 (*B. subtilis*) e B7 (*Enterobacter* sp.) promoveram incrementos consistentes de MSC em todas as variedades, superando não apenas os demais isolados, mas também as testemunhas adubadas com nitrogênio (TN e TN 50%) (gráfico 8). Esses resultados confirmam a capacidade dessas estirpes de manter desempenho elevado mesmo em ambientes competitivos, reforçando sua adaptabilidade ecológica.

A estirpe *B. subtilis* (B9) reafirmou seu papel como rizobactéria de alto desempenho, associada aos seus mecanismos promotores de crescimento (Hashem *et al.*, 2019; Shaikh *et al.*, 2022; Egamberdieva *et al.*, 2019; Souza *et al.*, 2021). A capacidade de formar endósporos garante maior resiliência em condições edafoclimáticas diversas, explicando sua consistência entre os dois ensaios e seu desempenho superior até mesmo em relação à adubação nitrogenada plena (Chowdhury *et al.*, 2018; Gond *et al.*, 2023).

De forma complementar, *Enterobacter sp.* (B7) apresentou ganhos expressivos sobretudo no Ensaio II, com efeitos positivos em todas as variedades avaliadas. Seus mecanismos de promoção de crescimento favorecem a expansão celular, o engrossamento dos tecidos caulinares e a absorção de nutrientes (Majeed *et al.*, 2018; Mahanty *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2021). Esses atributos explicam a superioridade de B7 frente às testemunhas, inclusive sob competição com a microbiota nativa, confirmando sua robustez rizosférica (Compant *et al.*, 2021; Mendes *et al.*, 2013).

Gráfico 8 - Massa seca do colmo de plantas de milho crioulo inoculadas com isolados de bactérias promotoras de crescimento vegetal. As médias foram submetidas à análise de variância e comparadas por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$).



Fonte: Própria do Autor, 2025.

Do ponto de vista fisiológico, os ganhos de MSC estão associados à maior reserva de fotoassimilados, ao transporte eficiente de nutrientes e à maior robustez estrutural das plantas (Hashem *et al.*, 2019; Souza *et al.*, 2021). Em termos agrônômicos, colmos mais espessos e pesados reduzem a suscetibilidade ao acamamento, favorecem o enchimento de grãos e aumentam a estabilidade da lavoura, aspectos fundamentais para garantir

produtividade em diferentes ambientes (Sangoi *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2022).

Estudos prévios já evidenciaram que *Bacillus* e *Enterobacter* contribuem para maior acúmulo de biomassa caulinar e incremento de produtividade mesmo em condições de redução do uso de fertilizantes minerais (Hungria *et al.*, 2010; Fukami *et al.*, 2018; Hafeez *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2022).

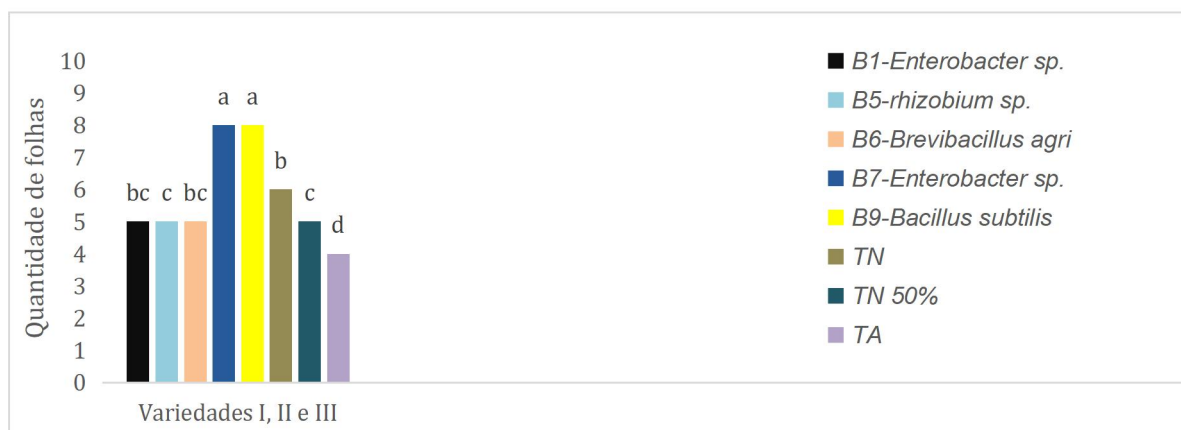
A análise de variância (ANOVA) para o número de folhas (QF) do milho revelou contrastes importantes entre os dois ensaios, destacando o papel do genótipo e das estirpes bacterianas como moduladores do desenvolvimento foliar.

No Ensaio II houve significância tanto para variedade (FC = 42,873; $p < 0,00001$) quanto para bactéria (FC = 3,760; $p = 0,03072$), embora a interação variedade*bactéria não tenha sido significativa (FC = 1,595; $p = 0,11695$). O CV de 11,12% confirmou elevada precisão experimental. Nesse cenário, os efeitos das estirpes bacterianas foram consistentes entre genótipos, indicando que B9, B7 e B6 exerceram influência positiva e independente do material genético cultivado (gráfico 9).

Entre as estirpes, *B. subtilis* (B9) destacou-se em ambos os ensaios, reforçando sua robustez ecológica e funcional (Backer *et al.*, 2018; Guimarães *et al.*, 2020). A estirpe B7 (*Enterobacter sp.*) também apresentou desempenho expressivo, sobretudo em genótipos mais responsivos (Majeed *et al.*, 2018; Mahanty *et al.*, 2017; Verma *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2022; Fonseca *et al.*, 2022). Já B6 (*Brevibacillus agri*) demonstrou efeitos consistentes na promoção de QF, ancorados na produção de enzimas extracelulares e sideróforos que ampliam a absorção de nutrientes e favorecem a sanidade radicular (Medeiros *et al.*, 2020).

Por outro lado, estirpes com desempenho inferior apresentaram valores de QF semelhantes aos das testemunhas, possivelmente devido à limitada síntese de fitormônios, menor capacidade de solubilização de nutrientes ou baixa competitividade frente à microbiota residente. Essa limitação é coerente com análises de Glick (2012), Bashan *et al.* (2013) e Compant *et al.* (2010), que enfatizam a necessidade de selecionar estirpes multifuncionais e competitivas para formulações comerciais de inoculantes.

Gráfico 9 - Quantidade de folhas de plantas de milho crioulo inoculadas com isolados de bactérias promotoras de crescimento vegetal. As médias foram submetidas à análise de variância e comparadas por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$).



Fonte: Própria do Autor, 2025.

Do ponto de vista fisiológico, o incremento no número de folhas resulta de mecanismos como a síntese de AIA e citocininas, que promovem divisão e expansão celular; a FBN, que amplia a nutrição nitrogenada; e a solubilização de fósforo, que favorece a síntese de compostos energéticos e metabólitos associados ao crescimento foliar (Backer *et al.*, 2018; Egamberdieva *et al.*, 2017; Hungria *et al.*, 2010; Khan *et al.*, 2022). Agronomicamente, o aumento de folhas expande a área fotossintética, amplia a interceptação luminosa e potencializa a produção de biomassa, refletindo diretamente na produtividade de grãos.

Os dois ensaios evidenciaram que o desempenho do milho é simultaneamente controlado pelo genótipo e pela estirpe bacteriana. Em ambiente esterilizado, múltiplas estirpes expressaram potencial, mas em solo com microbiota ativa, apenas *B. subtilis* (B9) mostrou robustez plena, e *Enterobacter* sp. (B7) se destacou em genótipos responsivos.

B9 apresentou superioridade absoluta em CPA, CPR, VR, MSPA, MSR, CC, DC, MSC e QF, com efeitos consistentes e muitas vezes superiores à adubação nitrogenada. B7 apresentou desempenho variável, mas competitivo em parâmetros estruturais e foliares. B6 destacou-se em atributos radiculares, configurando papel complementar em consórcios.

Fisiologicamente, os efeitos convergem para raízes mais extensas e funcionais (CPR, VR, MSR) e parte aérea mais vigorosa (CPA, QF, MSPA), refletindo em maior MSC e robustez estrutural (CC e DC). Agronomicamente, tais características implicam maior eficiência no uso de nutrientes, menor risco de acamamento e maior produtividade potencial. Ambientalmente, a substituição parcial da adubação nitrogenada por inoculantes bacterianos reduz custos e mitiga impactos como lixiviação de nitratos e emissões de gases de efeito estufa (Adesemoye *et al.*, 2009; Hungria *et al.*, 2010, 2022).

5 CONCLUSÃO

O estudo evidenciou o elevado potencial das bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) na melhoria de atributos morfológicos do milho crioulo, especialmente quando inoculado com os isolados *Enterobacter sp.* (B7) e *Bacillus subtilis* (B9). Os resultados confirmam que a eficácia da inoculação está diretamente associada à interação planta–microrganismo, sendo as variedades crioulas particularmente responsivas em condições de baixa disponibilidade de nutrientes. Esses achados reforçam o papel das BPCP como ferramentas biotecnológicas promissoras para a agricultura sustentável, sobretudo em sistemas de base familiar e em ambientes onde há limitações no uso de insumos químicos.

A análise estatística corroborou que a resposta à inoculação é fortemente dependente do genótipo, indicando que a seleção adequada de combinações planta–microrganismo é essencial para o desenvolvimento de bioinoculantes de alto desempenho. Dessa forma, o uso de inoculantes à base de *Enterobacter sp.* e *Bacillus subtilis* surge como alternativa eficiente para reduzir a dependência de fertilizantes nitrogenados sintéticos, contribuindo simultaneamente para a sustentabilidade da produção, a redução de custos e a disseminação de tecnologias mais acessíveis aos agricultores familiares, como aqueles da região de Pedro II – PI. Estudos em condições de campo são recomendados para validar e ampliar as evidências obtidas em ambiente controlado.

REFERÊNCIAS

- AHEMAD, M.; KIBRET, M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. **Journal of King Saud University – Science**, v. 26, p. 1-20, 2014. Acesso em 23 de ago. 2025, Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/236902286_Mechanisms_and_applications_of_plant_growth_promoting_rhizobacteria_Current_perspective. Acesso em: 23 out. 2024.
- ALMEIDA, J. R. B.; PEREIRA, F. J.; MORAES, M. H. Estudo do efeito de *Bacillus subtilis* na promoção do crescimento vegetal e na síntese de auxinas em milho. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, art. e20190345, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/391557076_Crescimento_e_producao_de_milho_hibrido_Feroz_VIP_3_submetidos_a_Bacillus_subtilis_e_Azospirillum_brasilense. Acesso em: 25 jan. 2024.
- ALMEIDA, G. M. et al. Efficacy of Rhizobium inoculation in non-leguminous crops: a critical review. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 166, 2021/2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s44187-024-00167-8>. Acesso em: 12 out. 2023.
- ALVES, G. C. **Efeito da inoculação de bactérias diazotróficas dos gêneros *Herbaspirillum* e *Burkholderia* em genótipos de milho**. 2007. Dissertação (Mestrado em Agronomia Ciência do solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007. Disponível em: http://www.ia.ufrj.br/cpacs/arquivos/teses_dissert/13_Gabriela_Cavalcanti_Alves.pdf. Acesso em: 17 jan. 2025.
- ALVES, G. C.; SOBRAL, L.; REIS, V. Grain yield of maize inoculated with diazotrophic bacteria with the application of nitrogen fertilizer. **Revista Caatinga**, v. 33, p. 644-652, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/NfKz9r7MKrzDGTfd4fLWTGf/?format=html&lang=en>. Acesso em: 19 abr. 2024.
- AQUINO, J. P. A.; MACEDO JUNIOR, F. B.; ANTUNES, J. E. L.; FIGUEIREDO, M. D. V. B.; DE ALCÂNTARA NETO, F.; DE ARAÚJO, A. S. F. Plant growth-promoting endophytic bacteria on maize and sorghum. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, p. 1–9, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/XDWTzjPhNxjw7Nkq3RHTqKp/?lang=en&format=html>. Acesso em: 22 out. 2024.
- AQUINO, J. P. A. D. et al. Bactérias endofíticas promotoras de crescimento de plantas em milho e sorgo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, art. e56241, 2019. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/56241>. Acesso em: 23 jan. 2025.
- ARAÚJO, E. de O.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M. Doses de nitrogênio e inoculação de *Herbaspirillum seropedicae* na cultura do milho em condições de solo fértil. **Acta Agronômica**, v. 65, n. 1, p. 16-23, 2016. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Doses-de-nitrog%C3%AAnio-e-inocula%C3%A7%C3%A3o-de-Herbaspirillum-Ara%C3%BAjo-Vitorino/74c56379869488a683ede481ba5781706dd1e777>. Acesso em: 22 ago. 2024.

ARAÚJO, F. F.; HENNING, A.; HUNGRIA, M. Phytohormones and antibiotics produced by *Bacillus subtilis* and their effects on seed pathogenic fungi and on soybean root development. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 21, p. 1639- 1645, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/tcQRWMBs9NnvztnZddrhjQy/?lang=pt>. Acesso em: 25 set. 2024.

BACKER, R.; ROKEM, J. S.; ILANGUMARAN, G.; LAMONT, J.; PRASLICKOVA, D.; RICCI, E.; SUBRAMANIAN, S.; SMITH, D. L. Plant growth-promoting rhizobacteria: context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, art. 1473, 2018. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plantscience/articles/10.3389/fpls.2018.01473/full>. Acesso em: 12 abr. 2024.

BAIRAMOVIC, O. et al. Efficacy of rhizobacterial exopolysaccharides in improving plant growth, physiology, and soil properties. **Microbiological Research**, v. 253, art. 126887, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-021-09286-6>. Acesso em: 12 jun. 2024.

BALDANI, J. I.; REIS, V. M.; VIDEIRA, S. S.; BODDEY, L. H.; BALDANI, V. L. D. The art of isolating nitrogen-fixing bacteria from non-leguminous plants using N-free semi-solid media: a practical guide for microbiologists. **Plant and Soil**, v. 384, n. 1-2, p. 413-431, 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/S11104-014-2186-6>. Acesso em: 10 abr. 2025.

BASHAN, Y. Inoculants of plant growth-promoting bacteria for use in agriculture. **Biotechnology Advances**, v. 16, p. 729-770, 1998. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/222460810_Inoculants_of_plant_growth-promoting_bacteria_for_use_in_agriculture?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uliwicGFnZSI6InNIYXJjaCIsInBvc2l0aW9uljoicGFnZUhiYWRIciJ9fQ. Acesso em: 27 mai. 2024.

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth: a critical assessment. **Advances in Agronomy**, v. 108, p. 77-136, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/chapter/bookseries/abs/pii/S0065211310080028>. Acesso em: 23 out. 2024.

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E.; PRABHU, S. R.; HERNÁNDEZ, J.-P. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998–2013). **Plant and Soil**, v. 378, n. 1-2, p. 1-33, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/272475945_Advances_in_plant_growth-promoting_bacterial_inoculant_technology_Formulations_and_practical_perspectives_1998-2013. Acesso em: 11 out. 2025.

BASHAN, Y.; DE BASHAN, L. E.; GONZÁLEZ, L. E. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and agricultural perspectives. **Biotechnology Advances**, v. 48, p. 107–122, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/action/doSearch?AllField=Plant+growthpromoting+bacteria%3A+mechanisms+and+agricultural+perspectives>. Acesso em: 12 jul. 2024.

BASU, S.; RABARA, R.; NEGI, S. Towards a better greener future – an alternative strategy using biofertilizers I: Plant growth promoting bacteria. **Plant Gene**, v. 12, p. 43-49, 2017. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/318715003_Towards_a_better_greener_future_-_an_alternative_strategy_using_biofertilizers_I_Plant_growth_promoting_bacteria. Acesso em: 15 ago. 2024.

BÉCQUER, C. J.; SALAS, B.; ÁVILA, U.; PALMERO, L.; NÁPOLES, J. A.; ULLOA, L.; COLINA, O. L. Selection of Rhizobium strains inoculated in corn (Zea mays L.) in field conditions in cattle ecosystems of Sancti Spiritus. **Cuban Journal of Agricultural Science**, v. 45, n. 4, 2011. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/287576224_Selection_of_rhizobium_strains_inoculated_in_corn_Zea_mays_L_in_field_conditions_in_cattle_ecosystems_of_Sancti_Spiritus_Cuba. Acesso em: 12 abr. 2025.

BERGENSEN, 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. 46, p. 3- 16, 1971. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/226731908_Studies_of_natural_populations_and_mutants_of_Rhizobium_in_the_improvement_of_legume_inoculants. Acesso em: 27 set. 2024.

BHARDWAJ, D.; ANSARI, M. W.; SAHOO, R. K.; TUTEJA, N. Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. **Microbial Cell Factories**, v. 13, p. 66, 2014. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/262780810_Biofertilizers_function_as_key_player_in_sustainable_agriculture_by_improving_soil_fertility_plant_tolerance_and_crop_productivity. Acesso em: 26 jun. 2024.

BHATTACHARYYA, P. N.; JHA, D. K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 28, n. 4, p. 1327- 1350, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11274-011-0979-9>. Acesso em: 22 jul. 2024.

BODDEY, R. M.; FERREIRA, J. D.; CRUZ, J. C. da; URQUIAGA, S.; SANTOS, A. P. dos. Effect of inoculation of Azospirillum spp. on nitrogen accumulation by field-grown wheat. **Plant and Soil**, v. 95, n. 1, p. 109–121, 1986. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02378857>. Acesso em: 27 nov. 2024.

BOURASSA, D. V. et al. The lipopolysaccharide lipid A long-chain fatty acid is important for Rhizobium leguminosarum growth and stress adaptation in free-living and nodule environments. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 30, n. 2, p. 161- 175, 2017. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/312117867_The_Lipopolysaccharide_Lipid_A_LongChain_Fatty_Acid_Is_Important_for_Rhizobium_leguminosarum_Growth_and_Stress_Adaptation_in_Free-Living_and_Nodule_Environments. Acesso em: 27 jul. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira: análise mensal**. Brasília, DF: CONAB, jun. 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 10 ago. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Apresentação CONAB: milho**. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/produtos-360.html>. Acesso em: 10 ago. 2025.

CABALLERO-MELLADO, J. et al. Burkholderia unamae sp. nov. and N₂-fixing rhizospheric and endophytic species. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 54, p. 1165-1172, 2004. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/8430239_Burkholderia_unamae_sp_nov_an_N2-fixing_rhizospheric_and_endophytic_species. Acesso em: 20 ago. 2024.

CALVO, P.; NELSON, L.; KLOEPPER, J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. **Plant and Soil**, v. 383, p. 3-41, 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/S11104-014-2131-8>. Acesso em: 18 set. 2023.

CARVALHO, F. P.; SOUZA, L. M.; SANTOS, M. H. Strategies to enhance drought tolerance and fertilizer use efficiency in maize by inoculation with plant growth-promoting bacteria. **Agricultural Water Management**, v. 223, art. 105728, 2019. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2019.1480718/full>. Acesso em: 06 mar. 2025.

CAVALCANTI, F. J. de A. *et al.* (Eds.). **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. 3. ed. Recife: Instituto Agrônômico de Pernambuco (IPA), 212 p., 2008.

CHLEBUS, M. et al. Effect of different plant growth promoting rhizobacteria on maize. **Science International**, v. 26, n. 2, p. 813-817, 2014. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Effect-of-Different-Plant-Growth-Promoting-on-Maize-/0283bf712c1e36bdf8adceb1541ac5f2ce6f16f5>. Acesso em: 15 ago. 2024.

CHOWDHURY, M. E. K.; BAE, H. Bacterial endophytes isolated from mountain cultivated ginseng (*Panax ginseng* Mayer) have biocontrol potential against ginseng pathogens. **Biological Control**, v. 126, p. 97-108, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/326828948_Bacterial_endophytes_isolated_from_mountaincultivated_ginseng_Panax_ginseng_Mayer_have_biocontrol_potential_against_ginseng_pathogens. Acesso em: 11 ago. 2023.

CHUONG, N. V.; TRANG, N. N. P.; THUAN, N. V. Redução do uso de fertilizantes nitrogenados por duas bactérias diazotróficas endofíticas para nutrientes do solo e produtividade do milho. **Comunicações em Ciência e Tecnologia**, Long Xuyen, v. 9, n. 2, p. 348-355, 2024. Disponível em: <https://cadernos.abaagroecologia.org.br/cadernos/article/view/7653>. Acesso em: 10 ago. 2025.

COMPANT, S.; DÉNARIÉ, J.; MIRABEL, S.; LEPAGE, E.; AIT BARKA, E. Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future prospects. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 76, n. 12, p. 3461-3473, 2010. Disponível em: <https://journals.asm.org/doi/full/10.1128/aem.71.9.4951-4959.2005>. Acesso em: 26 set. 2024.

COMPANT, S.; SAMAD, A.; FAIST, H.; SESSITSCH, A. A review on the plant microbiome: ecology, functions, and emerging trends in microbial application. **Journal of Advanced**

Research, v. 19, p. 29-37, 2021. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090123219300700>. Acesso em: 23 fev. 2024.

COSTA, C. D. N. et al. Seed size influences the promoting activity of rhizobia on plant growth, nodulation and N fixation in lima bean. **Ciência Rural**, v. 51, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/348339369_Seed_size_influences_the_promoting_activity_of_rhizobia_on_plant_growth_nodulation_and_N_fixation_in_lima_bean. Acesso em: 26 ago. 2024.

CALVO, P.; ORMEÑO-ORRILLO, E.; MARTÍNEZ-ROMERO, E.; ZÚÑIGA, D.

Characterization of *Bacillus* isolates of potato rhizosphere from Andean soils of Peru and their potential PGPR characteristics. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 41, n. 4, p. 899–906, 2010. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/256542088_Characterization_of_Bacillus_isolates_of_potato_rhizosphere_from_Andean_soils_of_Peru_and_their_potential_PGPR_characteristics. Acesso em: 28 ago. 2024.

DARTORA, J. et al. Maize response to inoculation with strains of plant growth-promoting bacteria. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 7, p. 606-611, 2016. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/305382770_Maize_response_to_inoculation_with_strains_of_plant_growth-promoting_bacteria. Acesso em: 23 fev. 2024.

DIAS, A. S.; SANTOS, C. C. B. **Bactérias promotoras de crescimento de plantas: conceitos e potencial de uso**. Teresina: EDUFPI, 120p, 2022. Disponível em:

<http://editorapantanal.com.br/ebooks/2022/bacterias-promotoras-de-crescimento-de-plantas-conceitos-e-potencial-de-uso/ebook.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2025.

DOBEREINER, J. Biological nitrogen fixation in the tropics: social and economic

contributions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, n. 5–6, p. 771-774, 1997. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S003807179600226X>. Acesso em: 23 nov. 2024.

DOTTO, A. P.; LANA, M. C.; STEINER, F.; FRANDOLOSO, J. F. Produtividade do milho em resposta à inoculação com *Herbaspirillum seropedicae* sob diferentes níveis de nitrogênio.

Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 5, n. 3, p. 376-382, 2010. Disponível em: <http://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v5i3a898>. Acesso em: 25 nov. 2024.

EGAMBERDIEVA, D.; OTTER, M.; LUGTENBERG, B.; KAMILOVA, F. Plant growth-promoting bacteria and their role in improving crop productivity under abiotic stress conditions. **Microbiological Research**, v. 205, p. 91-99, 2017. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/327401655_Plant_growth_promoting_bacteria_role_in_soil_improvement_abiotic_and_biotic_stress_management_of_crops. Acesso em: 25 abr. 2025.

EDWARDS, S. G.; SEDDON, B. Mode of antagonism of *Brevibacillus brevis* against *Botrytis cinerea* in vitro. **Journal of Applied Microbiology**, v. 91, n. 4, p. 652-659, 2001.

Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/11772722_Mode_of_antagonism_of_Brevibacillus_brevis_against_Botrytis_cinerea_in_vitro. Acesso em: 13 jan. 2025.

ELLOSO, C. C. V. et al. Tropical *Bacillus* strains inoculation enhances maize root surface area, dry weight, nutrient uptake and grain yield. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 42, p. 970-983, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00344-020-10146-9>. Acesso em: 5 ago. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de manejo da cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/buscade-publicacoes/-/publicacao/1125439/manual-de-manejo-da-cultura-do-milho>. Acesso em: 10 ago. 2025.

FERREIRA, C. M. H. et al. Plant growth-promoting rhizobacteria: their potential as a sustainable agriculture tool. **Microbiological Research**, v. 235, art. 126467, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/chapter/editedvolume/abs/pii/B9780443191503000151>. Acesso em: 20 jun. 2023.

FERREIRA, M. F.; COSTA, F. T.; LIMA, L. R. Solubilização de fósforo por bactérias do gênero *Bacillus* e seus efeitos no crescimento vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, art. e0210094, 2021. Disponível em: <https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/973>. Acesso em: 21 jan. 2025.

FLORIO, A. et al. Soil C and N statuses determine the effect of maize inoculation by plant growth-promoting rhizobacteria on nitrifying and denitrifying communities. **Scientific Reports**, v. 7, art. 8411, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/319141869_Soil_C_and_N_statuses_determine_the_effect_of_maize_inoculation_by_plant_growthpromoting_rhizobacteria_on_nitrifying_and_denitrifying_communities. Acesso em: 25 jul. 2023.

FONSECA BREDÁ, F. A.; ALVES, G. C.; REIS, V. M. Produtividade de milho na presença de doses de N e de inoculação de *Herbaspirillum seropedicae*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 1, p. 45-52, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/cJkTDGZKbk7q9KKHyMsQwQj/?lang=pt>. Acesso em: 24 jan. 2023.

FONSECA, M. R. et al. *Enterobacter* spp. as multifunctional PGPR in maize: effects on root architecture and nutrient uptake. **Applied Soil Ecology**, v. 179, 2022. Disponível em: https://www.preprints.org/frontend/manuscript/000fe3991c73b7444b38f0f41fcb82f/download_pub. Acesso em: 22 jul. 2024.

FUKAMI, J.; CERZINI, P.; HUNGRIA, M. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **AMB Express**, v. 8, art. 73, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/324960621_Azospirillum_benefits_that_go_far_beyond_biological_nitrogen_fixation. Acesso em: 27 mar. 2023.

GALDIANO JÚNIOR, R. F. et al. Bactérias produtoras de auxinas isoladas de raízes de *Cattleya walkeriana*, orquídea brasileira ameaçada de extinção, e sua função na aclimatização. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 729-737, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/262553935_Auxinproducing_bacteria_isolated_from_the_roots_of_Cattleya_walkeriana_an_endangered_Brazilian_orchid_and_their_role_in_a_cclimatization. Acesso em: 14 set. 2024.

GALVÃO, J. C. C. et al. Adubação nitrogenada no milho em sucessão à soja na região do cerrado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 1, p. 28-39, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/mXXs7BGY6k3yJjtG4hmC7Vf/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 19 jun. 2023.

GALVÃO, J. C. C.; BORÉM, A.; PIMENTEL, M. A. **Milho: do plantio à colheita**. 2a. ed. Viçosa, MG: UFV, 382p., 2017.

GÍRIO, L. A. et al. Bactérias promotoras de crescimento e adubação nitrogenada no crescimento inicial de cana-de-açúcar proveniente de mudas pré-brotadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 33-43, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/276373481_Bacterias_promotoras_de_crescimento_e_adubacao_nitrogenada_no_crescimento_inicial_de_cana-deacucar_proveniente_de_mudas_pre-brotadas. Acesso em: 02 jul. 2024.

GLICK, B. R. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. **Scientifica**, 2012, Art. ID 963401, 15 p., 2012. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.6064/2012/963401?msocid=1043331eac9a6b743dba20c3adcb6a46>. Acesso em: 10 jul. 2024.

GONZÁLEZ, A. M.; VICTORIA, D. E.; MERINO, F. C. G. Efficiency of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in sugarcane. **Terra Latinoamericana**, v. 33, p. 321–330, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/290169149_Efficiency_of_plant_growth_promoting_rhizobacteria_PGPR_in_sugarcane. Acesso em: 28 jan. 2024.

GOUDJAL, Y. et al. Endophytic actinomycetes from spontaneous plants of Algerian Sahara: indole-3-acetic acid production and tomato plants growth promoting activity. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 29, n. 10, p. 1821-1829, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/236196273_Endophytic_actinomycetes_from_spontaneous_plants_of_Algerian_Sahara_Indoleacetic_acid_production_and_tomato_plants_growth_promoting_activity. Acesso em: 22 jul. 2024.

GUIMARÃES, R. C. C.; SILVA, C. F.; SOUZA, D. M. G.; PEREIRA, J. A. Plant growth promotion by *Bacillus subtilis*: effects on biomass accumulation and nutrient uptake. **Applied Soil Ecology**, v. 147, art. 103392, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139320302520>. Acesso em: 10 ago. 2025.

HAFAEEZ, B.; KHANIF, M. Y.; SALEEM, M. Biological nitrogen fixation and its role in sustainable agriculture. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 27, n. 4, p. 511-519, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071723003231>. Acesso em: 24 set. 2024.

HASHEM, A.; TABASSUM, B.; FADHILAH, N. R. *Bacillus subtilis*: a potential bacterium for sustainable agriculture. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, n. 7, p. 1291-1297, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X19300890>. Acesso em: 26 ago. 2024.

HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **Revista STAB**, v. 17, p. 32–34, 1999. Disponível em: <https://vdocuments.mx/um-mtado-simples-para-estimar-a-rea-foliar-da-cana-de-acar.html>. Acesso em: 20 set. 2024.

HERNÁNDEZ, P. M. et al. Synergistic effects of *Bacillus subtilis* and *Azospirillum brasilense* on maize growth under nitrogen stress. **Journal of Applied Microbiology**, v. 136, n. 3, p. 723-734, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/390587184_Synergism_of_Bacillus_subtilis_and_Azospirillum_brasilense_for_enhanced_Nuse_efficiency_and_maize_growth_Evidence_from_N_isotopic_and_physiological_responses. Acesso em: 10 jul. 2025.

HOAGLAND, D.; ARNON, D. I. The water culture method for growing plants without soil. **California: Agricultural Experimental Station Circular 347**, 1950. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19400300028>. Acesso em: 28 set. 2024.

HOSSAIN, S.; MARTENSSON, A. Potential use of *Rhizobium* spp. to improve fitness of non-nitrogen-fixing plants. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science**, v. 58, n. 4, p. 352-358, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/235953435_Potential_use_of_Rhizobium_spp_to_improve_fitness_of_non-nitrogen-fixing_plants. Acesso em: 22 set. 2023.

HUNGRIA, M. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio para a nutrição nitrogenada de culturas de grãos nos trópicos: o sucesso da soja na América do Sul. In: KENNEDY, I. R.; CHOUDHURY, A. T. M. A. (org.). **Nitrogen fixation in agriculture, forestry, ecology and environment**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2006. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-import%C3%A2ncia-do-processo-de-fixa%C3%A7%C3%A3o-biol%C3%B3gica-do-a-Hungria-Campo/dd04a27b6b98e43eb0d391a280678ad75be97387>. Acesso em: 02 jun. 2024.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAÚJO, R. S. Inoculants with plant growth-promoting bacteria: an alternative to chemical fertilizers in agriculture. **Frontiers in Microbiology**, v. 13, art. 897103, 2022. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/research-topics/76687/fieldapplications-of-plant-growth-promoting-rhizobacteria-for-crop-protection-and-nutrient-enhancement>. Acesso em: 23 junh. 2023.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, v. 331, p. 413-425, 2010. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2022.929114/full>. Acesso em: 10 jan. 2025.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; CAMPO, R. J.; GRAHAM, P. H. The importance of nitrogen fixation to soybean cropping in South America. In: WERNER, D.; NEWTON, W. E. (org.). **Nitrogen fixation in agriculture, forestry, ecology and environment**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2005.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAÚJO, R. S.; PAULA, F. M.; SOUZA, E. M. Fixação biológica de nitrogênio em sistemas agrícolas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 5, p. 577-586, 2010. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/publicacao/1000560/fixacao-biologica-de-nitrogenio>. Acesso em: 10 jan. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA): Tabela 1618 – Área plantada, área colhida e produção, por ano da safra e produto. **Rio de Janeiro** [s.d.]. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618>. Acesso em: 10 ago. 2025.

KANNAN, T.; PONMURUGAN, P. Response of paddy (*Oryza sativa* L.) varieties to *Azospirillum brasilense* inoculation. **Journal of Phytology**, v. 2, p. 8- 13, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/265809516_RESPONSE_OF_PADDY_ORYZA_SATIVA_L_VARIETIES_TO_AZOSPIRILLUM_BRASILENSE_INOCULATION. Acesso em: 25 abr. 2024.

KAVAMURA, V. N. et al. Screening of Brazilian microorganisms for plant growth promotion under saline conditions. **Microbiological Research**, v. 168, n. 4, p. 283-292, 2013. Disponível em: <https://scholar.google.com/scholar?q=Kavamura+2013+Screening+of+Brazilian+micro-organisms>. Acesso em: 10 ago. 2025.

KHAN, M. S. et al. Isolation and characterization of plant growth-promoting endophytic bacteria *Paenibacillus polymyxa* SK1 from *Lilium lancifolium*. **BioMed Research International**, p.17, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/search.Search.html?query=KHAN%2C+M.+S.+et+al.+Isolation+and+characterization+of+plant+growth%E2%80%91promoting+endophytic+bacteria+Paenibacillus+polymyxa+SK1+from+Lilium+lancifolium.+BioMed+Research+International%2C+2020%2C+17+p.%2C+2020.&type=publication>. Acesso em: 06 fev. 2025.

KILIAN, M.; STEINER, U.; KREBS, B.; SCHMIEDEKNECHT, G.; HAIN, R. FZB 24 *Bacillus subtilis* – mode of action of a microbial agent enhancing plant vitality. **Pflanzenschutz-Nachrichten**, v. 1, p. 72-93, 2000. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/288032437_FZB24_Bacillus_subtilis_-_mode_of_action_of_a_microbial_agent_enhancing_plant_vitality. Acesso em: 26 ago. 2024.

KUMAR, A. et al. *Bacillus* as PGPR in crop ecosystem: prospects and challenges. In: MEENA, V. S. et al. (org.). **Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Sustainable Stress Management**. Singapore: Springer, 2021.

KUMAR, A.; PRAKASH, A.; JOHRI, B. N. *Bacillus* as PGPR in crop ecosystem. In: FRANKLIN, T. (org.). **Bacteria in agrobiolgy: crop ecosystems**. Dordrecht: Springer, 2012. p. 37–59.

KUMAR, M.; SINGH, S. K.; YADAV, R. Bacterial endophytes in maize: diversity and functional role for sustainable agriculture. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 7, art. 1120470, 2023. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plantscience/articles/10.3389/fpls.2015.00805/full>. Acesso em: 12 jun. 2024.

LAZZARETI, E.; BETTIOL, W. Tratamento de sementes de arroz, trigo, feijão e soja com um produto formulado à base de células e metabólitos de *Bacillus subtilis*. **Scientia Agricola, Piracicaba**, v. 54, p. 89-96, 1997. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/dj37wmQDTggGTvZPvSJSQs/?lang=pt>. Acesso em: 15 set. 2024.

LIU, X. et al. *Bacillus subtilis* HG-15, a halotolerant rhizoplane bacterium, promotes growth and salinity tolerance in wheat (*Triticum aestivum*). **Research Square**, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/340472952_Bacillus_subtilis_HG15_a_Halotolerant_Rhizoplane_Bacterium_Promotes_Growth_and_Salinity_Tolerance_in_Wheat_Triticum_aestivum. Acesso em: 23 set. 2023.

LIU, Y.; CHEN, L.; WU, G.; FENG, H.; ZHANG, G.; CHEN, J. Application of *Bacillus* species as biofertilizer and biocontrol agent. **Environmental Pollution**, v. 323, art. 121251, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/391188265_Abstract_CT053_Aumolertinib_with_or_without_chemotherapy_as_first_line_treatment_in_locally_advanced_or_metastatic_NSCLC_with_sensitizing_EGFR_mutations. Acesso em: 12 set. 2024.

LOPES, A. A.; ZUFFO, A. M.; SILVA, R. A. Produção de milho consorciado com *Urochloa ruziziensis* inoculado com *Azospirillum brasilense* em plantio direto. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 8, n. 3, p. 31–38, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-food-systems/articles/10.3389/fsufs.2025.1562977/full>. Acesso em: 14 set. 2024.

LOPES, M. J. S.; BARROS, M. S.; SANTOS, C. A. F. Características morfoagronômicas de variedades crioulas de milho sob manejo agroecológico. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 14, n. 1, art. e6222, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/6nvw8HzbRJBf4Q93bDtBjsw/?format=html&lang=en>. Acesso em: 12 jul. 2024.

LUGTENBERG, B.; KAMILOVA, F. Plant-growth-promoting rhizobacteria. **Annual Review of Microbiology**, v. 63, p. 541–556, 2009. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918>. Acesso em: 23 set. 2024.

MA, H. et al. Poly- γ -glutamic acid promoted maize root development by affecting auxin signaling pathway and the abundance and diversity of rhizosphere microbial community. **BMC Plant Biology**, v. 22, art. 521, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12870-022-03908-y>. Acesso em: 23 jul. 2024.

MAHAPATRA, A. et al. Genotype-specific root responses of maize to plant growth-promoting bacteria in low-nitrogen soil conditions. **Rhizosphere**, v. 28, art. 100796, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/395607131_Inoculation_frequency_and_maize_genotype_influence_plant_growthpromoting_effects_of_soil_bacteria_under_low_nitrogen_conditions. Acesso em: 23 set. 2024.

MARENGO, J. A. et al. Drought in Northeast Brazil: a review of agricultural and policy adaptation options for food security. **Climate Resilience and Sustainability**, v. 1, n. 1, art. e17, 2022. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/cli2.17>. Acesso em: 12 out. 2024.

MEDEIROS, F. H. V. et al. Microbial biofertilizers and biopesticides for a sustainable agriculture. In: JACOB-LAZAROVITCH, E. et al. (org.). **Microorganisms in Sustainable Agriculture and Biotechnology**. Cham: Springer, 2020. p. 307–328.

MEHTA, P.; CHAUHAN, A.; MAHAJAN, R.; MAHAJAN, P. K.; SHIRKOT, C. K. A *Bacillus circulans* strain from apple rhizosphere displaying plant growth promoting activity. **Current Science**, v. 98, n. 4, p. 538-542, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/242573351_Strain_of_Bacillus_circulans_isolated_from_apple_rhizosphere_showing_plant_growth_promoting_potential. Acesso em: 15 jul. 2024.

MENDES, R.; GARBEVA, P.; RAAIJMAKERS, J. M. The rhizosphere microbiome: significance of plant beneficial, plant pathogenic, and human pathogenic microorganisms. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 37, n. 5, p. 634-663, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/241690566_The_rhizosphere_microbiome_Significance_of_plant_beneficial_plant_pathogenic_and_human_pathogenic_microorganisms. Acesso em: 12 dez. 2024.

MENDES, R. et al. Deciphering the rhizosphere microbiome for disease-suppressive bacteria. **Science**, v. 332, n. 6033, p. 1097-1100, 2011. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21551032/>. Acesso em: 14 set. 2024.

MONTAÑEZ, A.; BLANCO, A. R.; BARLOCCO, C.; BERACOCHEA, M.; SICARDI, M. Characterization of cultivable putative endophytic plant growth promoting bacteria associated with maize cultivars (*Zea mays* L.) and their inoculation effects in vitro. **Applied Soil Ecology**, v. 58, p. 21-28, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139312000418>. Acesso em: 12 out. 2024.

MOREIRA, C. A. et al. Biofertilization with *Bacillus* spp. improves maize productivity under low phosphorus availability. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, art. 1426166, 2024. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2024.1426166/full>. Acesso em: 10 jul. 2025.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2013.

MOTA, M. R.; SANGOI, L.; SCHENATTO, D. E.; GIORDANI, W.; BONIATTI, C. M.; DALL'IGNA, L. Fontes estabilizadas de nitrogênio como alternativa para aumentar o rendimento de grãos e a eficiência de uso do nitrogênio pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 512-522, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/QNm3ZHGstkjYccMbQWCFpGg/?lang=pt>. Acesso em: 10 set. 2024.

MURRAY, J. D. Invasion by invitation: rhizobial infection in legumes. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 24, n. 6, p. 631-639, 2011. Disponível em: https://scholar.google.com/scholar?hl=ptBR&as_sdt=0%2C5&q=MURRAY%2C+J.+D.+Invasion+by+invitation%3A+rhizobial+infection+in+legumes.+Molecular+Plant+Microbe+Interactions%2C+v.+24%2C+n.+6%2C+p.+631%1E639%2C+2011.&btnG=. Acesso em: 23 jun. 2024.

NIU, X. et al. Drought-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria associated with foxtail millet in a semi-arid agroecosystem and their potential in alleviating drought stress. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, 2018. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2017.02580/full>. Acesso em: 22 set. 2024.

NOVO, L. A. B.; CASTRO, P. M. L.; ALVARENGA, P.; DA SILVA, E. F. Plant growth-promoting rhizobacteria-assisted phytoremediation of mine soils. *In*: MENCH, M. et al. (org.). **Bio-geotechnologies for Mine Site Rehabilitation**. Amsterdam: Elsevier, 2018. p. 281–295.

NOGUEIRA, A. R.; SOUZA, G. B. de. **Manual de laboratórios: solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005.

NUMAN, M. et al. Plant growth-promoting bacteria as an alternative strategy for salt tolerance in plants: a review. **Microbiological Research**, v. 209, p. 21-32, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/323158884_Plant_Growth_Promoting_Bacteria_as_an_Alternative_Strategy_for_Salt_Tolerance_in_Plants_A_Review. Acesso em: 22 jul. 2024.

NUMAN, M. et al. Plant growth-promoting rhizobacteria: mechanisms and applications. **Sustainability**, v. 10, art. 379, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/323158884_Plant_Growth_Promoting_Bacteria_as_an_Alternative_Strategy_for_Salt_Tolerance_in_Plants_A_Review. Acesso em: 25 jan. 2025.

PEREIRA, L. C. et al. Tratamento industrial e pré-inoculação do milho com *Azospirillum* spp.: potencial fisiológico das sementes e produtividade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 2, p. 245-256, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/338054053_TRATAMENTO_INDUSTRIAL_E_PRE_INOCULACAO_DO_MILHO_COM_Azospirillum_spp_POTENCIAL_FISIOLOGICO_DAS_SEMENTES_E_PRODUTIVIDADE. Acesso em: 17 abr. 2025.

OLANREWAJU, O. S.; GLICK, B. R.; BÄNFER, G. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 35, n. 11, art. 177, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/320258024_Mechanisms_of_action_of_plant_growth_promoting_bacteria. Acesso em: 22 ago. 2024

OLIVEIRA, A. L. M. de *et al.* Aplicações da biodiversidade bacteriana do solo para a sustentabilidade da agricultura. **BBR – Biochemistry and Biotechnology Reports**, v. 3, n. 1, p. 56–77, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/281377292_Aplicacoes_da_biodiversidade_bacteriana_do_solo_para_a_sustentabilidade_da_agricultura. Acesso em: 23 fev. 2024.

OSÓRIO FILHO, B. D.; BINZ, A.; LIMA, R. F.; GIONGO, A.; SÁ, E. L. S. Promoção de crescimento de arroz por rizóbios em diferentes níveis de adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, v. 46, n. 3, p. 478-485, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/284281417_Promocao_de_crescimento_de_arroz_por_rizobios_em_diferentes_niveis_de_adubacao_nitrogenada. Acesso em: 28 set. 2024.

PEREIRA, L. C.; PIANA, S. C.; BRACCINI, A. L.; GARCIA, M. M.; FERRI, G. C.; FELBER, P. H.; MARTELLI, D. C. V.; BIANCHESSI, P. A. Rendimento do trigo (*Triticum aestivum*) em resposta a diferentes modos de inoculação com *Azospirillum brasilense*. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 105-113, 2017. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/16433/13386>. Acesso em: 12 set. 2023.

PEREIRA, N. C. M.; GALINDO, F. S.; GAZOLA, R. P. D.; DUPAS, E.; ROSA, P. A. L.; MORTINHO, E. S. Corn yield and phosphorus use efficiency response to phosphorus rates associated with plant growth promoting bacteria. **Frontiers in Environmental Science**, v. 8, art. 40, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/340478967_Corn_Yield_and_Phosphorus_Use_Efficiency_Response_to_Phosphorus_Rates_Associated_With_Plant_Growth_Promoting_Bacteria. Acesso em: 10 jul. 2024.

PIETERSE, C. M. J.; DE JONGE, R.; BERENDSEN, R. L. The soil-borne supremacy. **Trends in Plant Science**, v. 21, n. 3, p. 171-173, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/293046031_The_Soil-Borne_Supremacy. Acesso em: 25 jun. 2024.

QUADROS, P. D. et al. Desempenho agrônômico a campo de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum*. **Revista Ceres**, v. 61, n. 2, p. 209-218, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/v4RGgXhxKtJzkKRtGTh7RDj/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 09 fev. 2024.

RADONS, A. F. S. **Avaliação da aplicação de *Bacillus subtilis* na cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.)**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) — Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2017. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/handle/123456789/4178>. Acesso em: 10 ago. 2025.

RATÓN, T. M. O. de los. et al. Isolamento e caracterização de bacilos aeróbios formadores de endósporos da rizosfera da cana-de-açúcar para seleção de cepas com potencialidades agrícolas. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 28, n. 4, p. 1593–1603, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11274-011-0984-8>. Acesso em: 22 out. 2024.

RAJKUMAR, M.; MAHESWARAN, G.; NARASIMHAN, V.; FREITAS, H. Characterization of plant growth promoting traits of bacteria isolated from polluted sites for phytoremediation. **Environmental Pollution**, v. 235, p. 529-537, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/315593787_Characterization_of_culturable_bacteria_isolated_from_hot_springs_for_plant_growth_promoting_traits_and_effect_on_tomato_Lycopersicon_esculentum_seedling. Acesso em: 27 jul. 2024.

RANUM, P.; PEÑA-ROSAS, J. P.; GARCIA-CASAL, M. N. Global maize production, utilization, and consumption. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1312, n. 1, p. 105-112, 2014. Disponível em: <https://nyaspubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/nyas.12396>. Acesso em: 06 fev. 2025.

REETZ, H. F. **Fertilizantes e seu uso eficiente**. São Paulo: ANDA, 2017. Disponível em: <https://www.ufla.br/dcom/wp-content/uploads/2018/03/Fertilizantes-e-seu-uso-eficiente-WEB-Word-Outubro-2017.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2025.

REZNICK, J. P. K.; PAULETTI, V.; NASCIMENTO, D. M. do; CREMONESI, M. V. Development of corn hybrids (*Zea mays* L.) under inoculation of diazotrophic bacteria and nitrogen fertilization. **Ciência Agrícola**, v. 17, n. 1, p. 71-76, 2019. Disponível em: [https://www.semanticscholar.org/paper/DEVELOPMENT-OF-CORN-HYBRIDS-\(Zea-mays\)-](https://www.semanticscholar.org/paper/DEVELOPMENT-OF-CORN-HYBRIDS-(Zea-mays)-)

UNDER-OF-AND-Reznick-Pauletti/961466af2e7704899cc589a83ce7f93bd9d9e2a5. Acesso em: 12 set. 2024.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Análises estatísticas no SAEG**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001.

RODRÍGUEZ-BLANCO, A. et al. Plant growth-promoting activity of *Bacillus subtilis* isolates on *Zea mays* L. **Microorganisms**, Basel, v. 9, n. 7, p. 1-15, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2021.731177/full>. Acesso em: 10 jul. 2025.

RONDINA, A. B. L. et al. Changes in root morphological traits in soybean coinoculated with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense* or treated with *A. brasilense* exudates. **Biology and Fertility of Soils**, p. 1-13, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/340215142_Changes_in_root_morphological_traits_in_soybean_coinoculated_with_Bradyrhizobium_spp_and_Azospirillum_brasilense_or_treated_with_A_brasilense_exudates. Acesso em: 22 jun. 2024.

SHAHZAD, R.; LI, X.; LI, Y. Impact of plant growth-promoting rhizobacteria on maize growth and yield under drought stress conditions. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, art. 670460, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plantscience/articles/10.3389/fpls.2018.01473/full>. Acesso em: 12 jul. 2024.

SÁ, J. C. M. et al. Manejo do solo e dos nutrientes na agricultura conservacionista. **Revista Ceres**, v. 64, n. 6, p. 520–529, 2017. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1129525/1/Doc-490-Manejo.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2024.

SAHARAN, B. S.; NEHRA, V. Plant growth promoting rhizobacteria: a critical review. **Life Sciences and Medicine Research**, v. 21, 2011. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Plant-Growth-Promoting-Rhizobacteria%3A-A-Critical-Saharan-Nehra/4bd87791af3a7e8cb1cd165e22bd6b67b47c7aca>. Acesso em: 23 ago. 2023.

SANTOS, K. P. et al. Responses of soil microbial communities to bacterial inoculants in field-grown maize. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 107, n. 2, p. 525-538, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/222393867_Responses_of_soil_microbial_biomass_and_activity_for_practices_of_organic_and_conventional_farming_systems_in_Piaui_state_Brazil. Acesso em: 23 jun. 2024.

SANTOS, M. S. et al. Seleção de estirpes de bactérias promotoras de crescimento em milho em diferentes condições edafoclimáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 57, art. e02200012, 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/364942933seleçãoestirpesdebacteriasdecrecimentoommilhoemdiferentescondiçõesedafoclimáticas>. Acesso em: 23 jun. 2024.

SANTOS, R. M.; ALMEIDA, R. B.; SILVA, F. L. Potencial de estirpes bacterianas na promoção do crescimento de milho por fixação biológica de nitrogênio e síntese de auxinas. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 6, p. 129-138, 2018. Disponível em:

SILVA, T. L. et al. Interação entre cultivares de milho e bactérias promotoras de crescimento: implicações para o uso eficiente de bioinoculantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, art. e0210067, 2021. Disponível em: https://www.academia.edu/91842224/Bact%C3%A9rias_promotoras_de_crescimento_de_plantas_conceitos_e_potencial_de_uso. Acesso em: 02 set. 2024.

SOMAN, R.; LAKSHMIKANTHA, S.; ARORA, N. K. Beneficial microbes for sustainable agriculture: a review on their ecological applications. **Agriculture**, v. 13, n. 2, art. 360, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/265511476_Beneficial_microorganisms_for_sustainable_agriculture. Acesso em: 23 ago. 2024.

SOMERS, E.; VANDERLEYDEN, J.; SRINIVASAN, M. Rhizosphere bacterial signalling: a love parade beneath our feet. **Critical Reviews in Microbiology**, v. 30, p. 205-240, 2004. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/8085873_Rhizosphere_Bacterial_Signalling_A_Love_Parade_Beneath_Our_Feet. Acesso em: 02 ago. 2024.

SOUSA, R. S. et al. Plant growth-promoting rhizobacteria effect on maize growth and microbial biomass in a chromium-contaminated soil. **Bragantia**, v. 80, art. e2521, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/b889b43b-2f07-46d0-976b-08495a66f048/content>. Acesso em: 03 set. 2024.

SOUZA, R. D.; AMBROSINI, A.; PASSAGLIA, L. M. P. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. **Genetics and Molecular Biology**, v. 38, n. 4, p. 401-419, 2015. Disponível em: SciELOBrasil-Plant growth-promoting bacteria as inoculants_inagricultural soils_Plantgrowth-promoting_bacteria_asinoculantsinagricultural_soils. Acesso em: 25 jan. 2025.

SOUZA, R. D.; AMBROSINI, A.; PASSAGLIA, L. M. P. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. **Microorganisms**, v. 11, n. 1, art. 140, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/283512270_Plant_growthpromoting_bacteria_as_inoculants_in_agricultural_soils. Acesso em: 07 fev. de 2022.

SOUZA, R. Q. et al. Plant growth-promoting bacteria induce resistance and increase maize root development under drought stress. **Microbiological Research**, v. 266, art. 127235, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/283512270_Plant_growthpromoting_bacteria_as_inoculants_in_agricultural_soils. Acesso em: 19 mai. 2024.

STURZ, A. V.; NOWAK, J. Endophytic communities of rhizobacteria and the strategies required to create yield enhancing associations with crops. **Applied Soil Ecology**, v. 15, p. 183- 190, 2000. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/222686739_Endophytic_communities_of_rhizobacteria_and_the_strategies_required_to_create_yield_enhancing_associations_with_crops. Acesso em: 15 de abr.

SZILAGYI- ZECCHIN, V. J.; MARRIEL, I. E.; SILVA, P. R. F. Produtividade de milho inoculado com *Azospirillum brasilense* em diferentes doses de nitrogênio cultivado em campo no Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 4, p. 795- 798, 2017. Disponível

em: https://scielo.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871018X2017000400012. Acesso em: 22 nov. 2023.

TAVANTI, T. R. et al. Yield and quality of soybean seeds inoculated with *Bacillus subtilis* strains. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 65- 71, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/337440567_Yield_and_quality_of_soybean_seeds_inoculated_with_Bacillus_subtilis_strains. Acesso em: 20 de dez. 2024.

TRACKER, L. F. D. P. **Desenvolvimento do milho (Zea mays L.) com o uso de bactérias promotoras do crescimento em diferentes tipos de solo**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/33605/1/desenvolvimentomilhobacteriaspromotoras.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2025.

TRÂN VAN, V. et al. Repeated beneficial effects of rice inoculation with a strain of *Burkholderia vietnamiensis* on early and late yield components in low fertility sulfate-acid soils of Vietnam. **Plant and Soil**, v. 218, p. 273- 284, 2000. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/226321001_Repeated_beneficial_effects_of_rice_inoculation_with_a_strain_of_Burkholderia_vietnamiensis_on_early_and_late_yield_component_in_low_fertility_sulphate_acid_soils_of_Vietnam. Acesso em: 05 de ago. 2024

VASQUES, N. C.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Increasing application of multifunctional *Bacillus* for biocontrol of pests and diseases and plant growth promotion: lessons from Brazil. **Agronomy**, v. 14, n. 8, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/382681466_Increasing_Application_of_Multifunctional_Bacillus_for_Biocontrol_of_Pests_and_Diseases_and_Plant_Growth_Promotion_Lessons_from_Brazil. Acesso em: 22 de jan. 2025.

VEJAN, P.; ABDULLAH, R.; KHADIRAN, T.; ISMAIL, S.; BOYCE, A. N. Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability, a review. **Molecules**, v. 21, n. 5, art. 573, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/301786893_Role_of_Plant_Growth_Promoting_Rhizobacteria_in_Agricultural_Sustainability-A_Review. Acesso em: 24 de set. 2024

VERMA, J. P. et al. Impact of plant growth-promoting rhizobacteria on crop production and soil health: a review. **Current Plant Biology**, v. 17, p. 42- 55, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/264828324_Impact_of_Plant_Growth_Promoting_Rhizobacteria_on_Crop_Production. Acesso em: 26 de out. 2024.

VIANA, C. M. et al. Agricultural land systems importance for supporting food security and sustainable development goals: a systematic review. **Science of the Total Environment**, v. 806, art. 150718, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/355026977_Agricultural_land_systems_importance_for_supporting_food_security_and_sustainable_development_goals_A_systematic_review. Acesso em: 22 set. 2024.

VIDOTTI, M. S.; MATIAS, F. I.; ALVES, F. C.; PÉREZ-RODRÍGUEZ, P.; BELTRAN, G. A.; BURGUENÔ, J.; CROSSA, J.; FRITSCHÉ-NETO, R. Maize responsiveness to *Azospirillum brasilense*: insights into genetic control, heterosis and genomic prediction. **PLoS One**, v. 14,

n. 6, 2019. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/333659686_Maize_responsiveness_to_Azospirillum_brasilense_Insights_into_genetic_control_heterosis_and_genomic_prediction. Acesso em: 16 jul. 2025.

VINCENT, J. M. **A manual for the practical study of root-nodule bacteria**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1970. (IBP Handbook, n. 15).

VURUKONDA, S. S. K. P.; SKZ, A.; SHRIVASTAVA, M.; KUMAR, V. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. **Microbiological Research**, v. 184, p. 13- 24, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/291016280_Enhancement_of_drought_stress_tolerance_in_crops_by_plant_growth_promoting_rhizobacteria. Acesso em: 25 out. 2025.

WELLER, D. M. Pseudomonas biocontrol agents of soilborne pathogens: looking back over 30 years. **Phytopathology**, v. 97, n. 2, p. 250- 256, 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/23408710_Pseudomonas_Biocontrol_Agents_of_Soilborne_Pathogens_Looking_Back_Over_30_Years. Acesso em: 05 jun. 2024.

YADAV, A. N.; KUMAR, R.; RANA, K. L.; DHALIWAL, H. S. **Plant microbiomes for sustainable agriculture**. Cham: Springer Nature, 2023. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-38453-1_16. Acesso em: 15 fev. 2024.

YADAV, S.; SINGH, P.; KUMAR, V.; SHARMA, S. Synergistic effects of *Bacillus* strains with multiple plant growth-promoting traits on maize growth under field conditions. **Plant and Soil**, v. 485, p. 123- 140, 2023. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-85465-2_24. Acesso em: 29 jan. 2023.

ZHANG, J.; HUSSAIN, S.; ZHAO, F.; ZHU, L.; CAO, X. G.; YU, S.; JIN, Q. Effects of *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens* on nitrogen transformation and enzyme activity in the rice rhizosphere. **Journal of Soils and Sediments**, v. 18, p. 1453- 1465, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095311916616088>. Acesso em: 12 mar. 2025.

Zuluaga, M. Y. A., Lima Milani, K. M., Azeredo Goncalves, L. S., e Martinez de Oliveira, A. L. Diversity and plant growth- promoting functions of diazotrophic/N- scavenging bacteria isolated from the soils and rhizospheres of two species of *Solanum*. **PLoS One**, v. 15, n. 1, art. e0227422, 2020. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0227422>. Acesso em: 23 jan. 2023.

ANEXO 1

Tabela 4 - Quadro da análise de variância para o comprimento da parte aérea (CPA) do milho, considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação (ENSAIO I).

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Bloco	2	2,45	1,23	1,256	0,2932
Variedade	11	965,96	87,82	89,888	< 0,0001
Bactéria	2	154,93	77,47	79,296	< 0,0001
Variedade * Bactéria	* 22	47,10	2,14	2,191	0,0105
Resíduo	52	50,80	0,98		
Total	89	1221,24			

Coeficiente de variação (CV): 5,51%

Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk): p = 0,0023

Fonte: Própria do autor.

Font

Tabela 5 - Quadro da análise de variância para o CPA do milho (ENSAIO II), considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	2	10.8	4.000	0.307	0.73711
Variedade	7	16520.9	9.000	134.822	0.00000
Bactéria	2	1651.8	6.000	47.178	0.00000
Variedade * Bactéria	14	766.2	5.000	3.127	0.00178
Resíduo	46	805.3	2.000	–	–
Total	71	19754.9	–	–	–

CV = 7,42 %

Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk): valor-p = 0,106559

Fonte: Própria do autor.

Tabela 6 - Quadro da análise de variância para o comprimento do sistema radicular (CPR) do milho, considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação (ENSAIO I).

Fonte variação	de	G L	SQ	QM	Fc	p-valor
Bloco	2		1,80	0,90	0,077	0,9263
Variedade	11		86054	782,1	67,22	< 0,0001
Bactéria	2		69,9	34,95	3,006	0,0582
Variedade Bactéria	*	22	487,9	22,18	1,907	0,0289
Resíduo		52	604,6	11,62		
Total		89	97696			
Coeficiente de variação (CV): 10,56%						
Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk): p = 0,0073						

Fonte: Própria do autor.

Tabela 7 - Quadro da análise de variância para o CPR do milho (ENSAIO II), considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação.

Fonte variação	de GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	2	17.5	6.000	0.476	0.62441
Variedade	7	20172.3	4.000	156.269	0.00000
Bactéria	2	256.7	2.000	6.960	0.00229
Variedade * Bactéria	14	815.8	5.000	3.160	0.00162
Resíduo	46	848.3	3.000	—	—
Total	71	22110.7	—	—	—
CV = 7,52 %					
Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk): valor-p = 0,1827486					

Fonte: Própria do autor.

Tabela 8 - Quadro da análise de variância para o volume radicular (VR) do milho, considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação(ENSAIO I).

Fonte de	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	variação
Bloco	2	6.67	4	3.982	0.0246030	
Variedade	11	882.69	6	95.857	0.0000000	
Bactéria	2	83.40	5	49.813	0.0000000	
Variedade Bactéria	× 22	43.71	3	2.373	0.0054698	
Resíduo	52	43.53	2	—	—	
Total	89	1060.00	1	—	—	
CV = 11,44 %						
Teste de normalidade (Shapiro-Wilk) Valor-p = 0.5052002						

Fonte: Própria do autor.

Tabela 9 - Quadro da análise de variância para o volume radicular (VR) do milho, considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação(ENSAIO II).

Fonte de	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc	variação
Bloco	2	41	3.000	1.097	0.34256	
Variedade	7	2189	167.51	167.51	0.00000	
Bactéria	2	1034	277.15	277.15	0.00000	
Variedade Bactéria	* 14	1257	6.000	4.831	0.00002	
Resíduo	46	855	2.000	—	—	
Total	71	3427	—	—	—	
CV = 7,67 %						
Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk): valor-p = 0,2639364						

própria do autor

Fonte:

Tabela 10 - Quadro da análise de variância para a massa seca da parte aérea (MSPA) do milho, considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação(ENSAIO I).

Fonte variação	de G L	SQ	QM	Fc	p-valor
Bloco	2	0,0164	0,0084 7	4,295	0,01877
Variedade	11	0,7322	0,0661	33,71	< 0,0001
Bactéria	2	0,0474	0,0232	12,11	< 0,0001
Variedade Bactéria	* 22	0,0926	0,0042	2,141	0,01262
Resíduo	52	0,1024	0,0017		
Total	89	0,9929			
Coeficiente de variação (CV): 16,39%					

Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk): p = 0,3686

Fonte:

Própria do autor

Tabela 11 - Quadro da análise de variância para MSPA do milho, considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação (ENSAIO II).

Fonte variação	de GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	2	0.975	3.000	1.766	0.18239
Variedade	7	140.566	6.000	72.769	0.00000
Bactéria	2	2.924	5.000	5.298	0.00850
Variedade * Bactéria	14	8.367	4.000	2.166	0.02499
Resíduo	46	12.694	2.000	—	—
Total	71	165.525	—	—	—

CV = 14,52 %

Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk): valor-p = 0,2297822

Fonte: Própria do autor

Tabela 12 - Quadro da análise de variância para a massa seca da raiz (MSR) do milho, considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação (ENSAIO I).

Fonte de variação	G L	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	2	0,204	0,102	0,755	0,47505
Variedade	11	117,46	10,69	79,09	0,00000
Bactéria	2	8,787	4,394	32,52 7	0,00000
Variedade Bactéria	× 22	10,428	0,474	3,509	0,00010
Resíduo	52	7,024	0,135	–	–
Total	89	143,99	–	–	–
Coeficiente de variação (CV) = 16,14 %					
Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk): p-valor = 0,0030					

Fonte: Própria do autor.

Tabela 13 - Quadro da análise de variância para MSR do milho, considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação (ENSAIO II).

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	2	161787	6	0.057	0.94447
Variedade	7	1080804659	3	109.177	0.00000
Bactéria	2	5429345	4	1.920	0.15824
Variedade * Bactéria	14	65329303	5	3.300	0.00112
Resíduo	46	65054104	2	–	–
Total	71	1216779199	–	–	–
CV = 15,86 %					
Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk): valor-p = 0,1240846					

Fonte: Própria do autor.

Tabela 14 - Quadro da análise de variância para o comprimento do colmo (altura)do milho, considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação (ENSAIO I).

Fonte de variação	de GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	2	0,341	0,170	0,373	0,69072
Variedade	11	159,858	14,532	31,795	0,00000
Bactéria	2	1,406	0,703	1,538	0,22441
Variedade × Bactéria	22	10,447	0,475	1,039	0,43859
Resíduo	52	23,768	0,457	–	–
Total	89	195,820	–	–	–
CV = 13,34 %					
Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk): p-valor = 0,2100					

Fonte: Própria do autor.

Tabela 15 - Quadro da análise de variância para o CC do milho (ENSAIO II), considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação.

Fonte de variação	de GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	2	3.55	3.000	1.099	0.34188
Variedade	7	1419.69	65.000	25.590	0.00000
Bactéria	2	34.55	45.000	10.697	0.00015
Variedade * Bactéria	14	46.84	3.000	2.072	0.03237
Resíduo	46	74.28	2.000	–	–
Total	71	1578.91	–	–	–
CV = 11,21 %					
Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk): valor-p = 0,1419088					

Fonte: Própria do autor.

Tabela 16 - Quadro da análise de variância para o diâmetro do colmo (DC) do milho, considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação.

Fonte de variação	G L	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	2	0,0047	0,02	0,621	0,54122
Variedade	11	0,9576	0,07	23,12	0,00000
Bactéria	2	0,0180	0,09	2,396	0,10105
Variedade Bactéria	× 22	0,0887	0,04	1,073	0,40349
Resíduo	52	0,1951	0,04	–	–
Total	89	1,2640	–	–	–

CV = 12,77 %

Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk): p-valor = 0,0247

Fonte: Própria do autor.

Tabela 17 - Quadro da análise de variância para o DC do milho (ENSAIO II), considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação.

Fonte de variação	de GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	2	0.00583	2.000	0.770	0.46874
Variedade	7	2.27319	6.000	85.769	0.00000
Bactéria	2	0.01000	5.000	1.321	0.27691
Variedade * Bactéria	14	0.04556	3.000	0.859	0.60474
Resíduo	46	0.17417	4.000	–	–
Total	71	2.50857	–	–	–

CV = 9,65 %

Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk): valor-p = 0,3685953

Fonte: Própria do autor.

Tabela 18 - Quadro da análise de variância para a massa seca do colmo (MSC) do milho, considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação (ENSAIO I).

Fonte de variação	de GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	2	0,000138	0,000069	0,211	0,8106
Variedade	11	0,169265	0,015388	47,021	<0,0001*
Bactéria	2	0,008882	0,004441	1,348	0,2687
Variedade × Bactéria	22	0,021712	0,000987	0,988	0,4940
Resíduo	52	0,051017	0,000981		
Total	89	0,194414			
CV = 11,81 %					
Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk): 0,000926					

Fonte: Própria do autor.

Tabela 19 - Quadro da análise de variância para MSC do milho, considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação (ENSAIO II).

Fonte de variação	de GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	2	27.139	13.569,5	0,385	0,6826
Variedade	7	26.269.495	3.752.785	106,479	<0,0001*
Bactéria	2	550.033	275.016,5	7,803	0,0012*
Variedade × Bactéria	14	1.692.196	120.871,1	3,430	0,0008*
Resíduo	46	1.621.240	35.244,3		
Total	71	30.160.102			
CV = 12,89 %					
Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk): valor-p = $9,503833 \times 10^{-7}$					

Fonte: Própria do autor.

Tabela 20 - Quadro da análise de variância para a quantidade de folhas (QF) milho, considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação.

Fonte de variação	G L	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	2	0,622	0,31	0,846	0,43473
Variedade	11	43,48	3,93	10,75	0,00000
Bactéria	2	0,422	0,21	0,574	0,56656
Variedade Bactéria	× 22	6,689	0,34	0,827	0,67997
Resíduo	52	19,11	0,38	–	–
Total	89	70,32	–	–	–
CV = 13,95 %					
Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk): p-valor = 0,0067					

Fonte:Própria do autor.

Tabela 21 - Quadro da análise de variância para o QF do milho (ENSAIO II), considerando os fatores variedade, bactéria e sua interação.

Fonte de variação	de GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	2	0.750	2.000	0.787	0.46121
Variedade	7	142.986	6.000	42.873	0.00000
Bactéria	2	3.583	5.000	3.760	0.03072
Variedade * Bactéria	14	10.639	4.000	1.595	0.11695
Resíduo	46	21.917	3.000	–	–
Total	71	179.875	–	–	–
CV = 11,12 %					
Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk): valor-p = 0,2634112					

Fonte:Própria do autor