

KHAWÊ HENRIQUE SILVA DOS SANTOS

**PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO VEGETAL POR ISOLADOS DE BACILLUS
NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO MILHO (*Zea mays L.*)**

São Cristóvão – SE

Fevereiro 2026



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE – UFS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS APLICADAS – CCAA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA – DEA

**PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO VEGETAL POR ISOLADOS DE BACILLUS
NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO MILHO (*Zea mays L.*)**

**Monografia apresentada ao Departamento de
Engenharia Agrônômica – Universidade
Federal de Sergipe, como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.**

ORIENTADO: Khawê Henrique Silva dos Santos

Documento assinado digitalmente
gov.br PAULO ROBERTO GAGLIARDI
Data: 23/02/2026 23:01:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Prof. Dr. Paulo Roberto Gagliardi
(Orientador)**

Documento assinado digitalmente
gov.br WALLISON OLIVEIRA VIEIRA
Data: 24/02/2026 06:27:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Me. Wallison Oliveira Vieira
(Coorientador)**

**Prof. Dr. Antenor de Oliveira Aguiar Netto
(Banca examinadora)**

*A Deus, que guiou meus passos e
me deu força nos momentos de dificuldade.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente, a Deus, por ter me concedido saúde, força e sabedoria para enfrentar os desafios ao longo desta jornada. Sem a fé que me sustenta, nada disso seria possível.

À minha mãe, Elisângela, e à minha avó, Nivalda, expresso minha mais profunda gratidão. Vocês são a base de tudo, meu porto seguro e minha maior inspiração. Agradeço por cada sacrifício, por cada palavra de incentivo e por nunca medirem esforços para que eu pudesse chegar até aqui. Essa conquista também é de vocês.

Ao meu orientador, Professor Paulo Roberto Gagliardi, agradeço imensamente pela paciência, dedicação e por todo o conhecimento compartilhado ao longo deste trabalho. Sua orientação foi fundamental para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

À Universidade Federal de Sergipe (UFS), por proporcionar um ambiente de aprendizado tão rico e por todo o suporte durante minha formação. Sou grato(a) por fazer parte desta instituição.

Agradeço aos mestres que durante a minha formação foram fundamentais, Professor Pedro Viegas, Professor Antenor Aguiar, Professor Airon, pelo suporte e ao técnico de laboratório Kairon por toda a assistência, disponibilidade e apoio durante a fase experimental.

À empresa BIOWORD, por abrir suas portas e tornar possível a realização dos experimentos desta pesquisa. Agradeço especialmente a toda equipe de P&D, pela disponibilidade, acolhimento e contribuições valiosas. A experiência de aprender com profissionais tão competentes foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

Lista de tabelas.....	vi
Lista de abreviaturas.....	vii
Lista de figuras	viii
Resumo.....	ix
1. Introdução	10
2. Referencial teórico.....	13
2.1 Importância Agronômica do Milho.....	13
2.2 Aspectos Fisiológicos e Nutricionais da Cultura.....	13
2.3 Bioinsumos e Bactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (BPCP).....	14
2.3.1 Gênero <i>Bacillus</i>	14
2.3.2 Gênero <i>Methylobacterium</i>	15
2.4 Mecanismos Microbianos de Promoção de Crescimento.....	15
2.5 Considerações Aplicadas ao Desenvolvimento Inicial.....	16
3. Material e métodos.....	17
3.2 Local do Experimento.....	17
3.3 Obtenção e Isolamento dos Microrganismos.....	17
3.4 Multiplicação e Preparo dos Inóculos.....	18
3.5 Triagem para Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)	19
3.6 Correlação de Spearman (pH x ABS)	19
3.7 Inoculação das Sementes e Plantio.....	19
3.8 Avaliação do Crescimento Vegetal.....	20
3.9 Delineamento Experimental e Análise Estatística.....	21
4. Resultados e discussão.	23
5. Conclusões	41
6. Referências	42
Anexos	47

LISTAS DE TABELAS

TABELA 1	Médias dos tratamentos referentes à fixação biológica de nitrogênio (FNB) por isolados FBV, agrupados pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade	24
TABELA 2	Médias dos tratamentos referentes à fixação biológica de nitrogênio (FBN) por isolados FBW, agrupados pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade	29
TABELA 3	Comparativo entre as médias do experimento.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DAS	Dias após Semeadura
BPCP	Bactérias promotoras do crescimento de plantas
SISVAR	Sistema de análise de variância
T1	Tratamento 1
T2	Tratamento 2
T3	Tratamento 3
C1	Controle 1
C2	Controle 2

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1	Processo de preparo e inoculação para o ensaio de potencial de fixador de Nitrogênio (A) inserção do meio FBN no tubo de ensaio; (B) raspagem da colônia com alça; (C) inoculação no tubo de ensaio; (D) meio de cultura com bactérias inoculadas.	18
Figura 2	Semente sendo inoculada	20
Figura 3	Instrumentos utilizados para as medições das plantas	21
Figura 4	Experimento em andamento	22
Figura 5	Distribuição de pH por tratamento	26
Figura 6	Absorbância por tratamento	27
Figura 7	Correlação entre pH e absorbância	28
Figura 8	Distribuição de pH por tratamento	31
Figura 9	Absorbância por tratamento	32
Figura 10	Correlação entre pH e absorbância	33
Figura 11	Gráfico altura de plantas 14° dia	34
Figura 12	Gráfico altura de plantas 20° dia	35
Figura 13	Gráfico diâmetro de colmo 14° dia	36
Figura 14	Gráfico diâmetro de colmo 20° dia	37
Figura 15	Gráfico comprimento de raiz	38
Figura 16	Gráfico número de folhas	39
Figura 17	Gráfico massa fresca	39
Figura 18	Gráfico massa seca	40
Figura 19	Plantas inoculadas com <i>Methylobacterium</i>	41
Figura 20	Plantas inoculadas com FBV 08	41

RESUMO

O milho (*Zea mays* L.), uma das culturas agrícolas de maior relevância econômica e alimentar, enfrenta crescente demanda por produtividade aliada à sustentabilidade. Nesse contexto, os bioinsumos destacam-se como alternativa à agricultura convencional, contribuindo para a promoção do crescimento vegetal, maior eficiência no uso de nutrientes e incremento da tolerância a estresses abióticos. Entre os microrganismos de interesse agrônomo, sobressaem-se bactérias do gênero *Bacillus*, especialmente pela capacidade de formar endósporos, característica que confere elevada estabilidade e viabilidade em formulações aplicadas a campo. Este trabalho avaliou o efeito de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) no desenvolvimento inicial do milho, por meio da inoculação de sementes em pré-plantio. Foram utilizadas cepas bacterianas isoladas, ainda não sequenciadas geneticamente, mas com potencial diazotrófico indicado por triagem em meio NFb, além de uma bactéria do gênero *Methylobacterium*, reconhecida por sua associação benéfica com plantas. O experimento analisou parâmetros biométricos relacionados ao crescimento vegetal, incluindo comprimento radicular, espessura de colmo, número de folhas, massa fresca e massa seca, bem como aspectos gerais da sanidade e vigor das plantas. Os resultados visam verificar o potencial das BPCP como estratégia para otimizar o estabelecimento inicial da cultura. Espera-se que a aplicação dessas bactérias contribua para a redução da dependência de fertilizantes químicos, aumento da eficiência nutricional e fortalecimento de práticas agrícolas mais sustentáveis. A abordagem proposta reforça o papel dos bioinsumos como ferramenta tecnológica alinhada à intensificação sustentável da produção agrícola.

PALAVRAS-CHAVE: Bioinsumos, *Bacillus*, Milho, Sustentabilidade

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) constitui uma das culturas agrícolas de maior relevância econômica, social e estratégica em escala global, sendo amplamente utilizado na alimentação humana, nutrição animal e como matéria-prima para diversos segmentos industriais, incluindo biocombustíveis, amidos, óleos e bioprodutos. A produção mundial ultrapassou 1,2 bilhão de toneladas em 2023, refletindo não apenas a elevada demanda, mas também o papel central dessa cultura na segurança alimentar e na estabilidade das cadeias agroindustriais (USDA, 2024).

Nesse cenário, países como Estados Unidos, China e Brasil destacam-se como principais produtores, respondendo conjuntamente por mais de 60% do volume global. O Brasil, em particular, contribui com aproximadamente 10% da produção mundial, alcançando 111,6 milhões de toneladas na safra 2023/2024, consolidando-se como protagonista no mercado internacional (CONAB, 2024).

No contexto regional, o estado de Sergipe tem se destacado no cenário agrícola nacional, consolidando-se como uma importante fronteira produtiva para a cultura do milho. Dados do 12º Levantamento da Safra de Grãos 2024/25, divulgado pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), indicam que a produção de milho no estado atingiu 1,1 milhão de toneladas na safra 2024/25, o que representa um expressivo crescimento de 17,9% em comparação com a safra anterior (2023/24). Este volume não apenas configura um recorde histórico para o estado, como também representa 41,78% de todo o milho de terceira safra produzido no país. (CONAB,2025)

Apesar dos avanços tecnológicos observados nas últimas décadas, a produção de milho ainda enfrenta desafios significativos, especialmente relacionados à sustentabilidade dos sistemas produtivos. A dependência de fertilizantes minerais, notadamente nitrogenados, implica elevados custos econômicos e impactos ambientais, como emissões de gases de efeito estufa, lixiviação de nutrientes e degradação da qualidade do solo. Além disso, em condições de baixa fertilidade, comuns em diversas regiões agrícolas, o estabelecimento inicial das plantas pode ser comprometido, afetando negativamente o crescimento vegetativo e o potencial produtivo da cultura.

Nesse contexto, o uso de bioinsumos à base de microrganismos benéficos tem emergido como estratégia promissora para promover a intensificação sustentável da agricultura. Entre esses, destacam-se as bactérias promotoras de crescimento de plantas

(BPCP), capazes de atuar por múltiplos mecanismos, incluindo fixação biológica de nitrogênio, solubilização de nutrientes, produção de fitormônios, indução de resistência sistêmica e modulação do metabolismo vegetal. Tais interações favorecem o desenvolvimento radicular, aumentam a eficiência no uso de nutrientes e contribuem para maior resiliência das plantas frente a estresses abióticos.

Particularmente, bactérias dos gêneros *Bacillus* e *Methylobacterium* têm recebido atenção crescente devido ao seu potencial biotecnológico e à sua aplicabilidade agrônômica. Espécies de *Bacillus* apresentam vantagens tecnológicas relevantes, como a formação de endósporos, característica que confere elevada estabilidade, tolerância a variações ambientais e viabilidade em formulações comerciais. Além disso, diversas cepas demonstram capacidade de promover crescimento vegetal por meio da produção de metabólitos bioativos e da interação positiva com o sistema radicular. Por sua vez, bactérias do gênero *Methylobacterium* são frequentemente associadas à filosfera e rizosfera, sendo reconhecidas por estimular o crescimento vegetal e contribuir para o equilíbrio fisiológico das plantas.

Diante desse panorama, torna-se fundamental ampliar o conhecimento acerca do efeito de BPCP no desenvolvimento inicial do milho, etapa crítica para o estabelecimento da cultura e para a definição de seu desempenho agrônômico. O crescimento radicular, o vigor vegetativo e o acúmulo de biomassa nas fases iniciais influenciam diretamente a capacidade da planta em explorar o solo, absorver nutrientes e tolerar condições adversas. O aumento contínuo da demanda global por alimentos impõe desafios significativos à agricultura moderna, especialmente no que se refere à necessidade de ampliar a produtividade sem intensificar os impactos ambientais. Nesse contexto, sistemas produtivos sustentáveis tornam-se estratégicos, sobretudo em regiões onde predominam solos de baixa fertilidade natural, como o Neossolo Quartzarênico. Esses solos, caracterizados por baixa capacidade de retenção de água, reduzido teor de matéria orgânica e limitada disponibilidade de nutrientes, frequentemente exigem elevados aportes de fertilizantes minerais, o que eleva os custos de produção e pode comprometer a sustentabilidade econômica e ambiental da atividade agrícola.

Este trabalho, desenvolvido no Parque Tecnológico SergipeTec, baseia-se na hipótese de que a inoculação de sementes de milho com cepas de *Bacillus* com potencial promotor de crescimento e com indícios de atividade diazotrófica, promove melhorias mensuráveis nos parâmetros biométricos e fisiológicos das plantas em condições de solo com baixa fertilidade. Assim, o estudo objetiva avaliar os efeitos dessas bactérias sobre o desenvolvimento inicial do milho, considerando variáveis relacionadas ao crescimento

radicular, arquitetura vegetativa e acúmulo de biomassa, contribuindo para a validação de bioinsumos como ferramenta tecnológica alinhada à sustentabilidade agrícola.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância Agronômica do Milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas agrícolas de maior relevância global, desempenhando papel fundamental na segurança alimentar, nutrição animal e em diversos segmentos industriais. A produção mundial na safra 2023/2024 superou 1,2 bilhão de toneladas, com elevado índice de consumo, refletindo sua ampla versatilidade de uso (USDA, 2024). Estados Unidos, China e Brasil destacam-se como os principais produtores, respondendo conjuntamente por parcela significativa da oferta mundial.

No Brasil, o milho ocupa posição estratégica no agronegócio, com produção de 111,6 milhões de toneladas na safra 2023/2024, cultivadas em aproximadamente 20,6 milhões de hectares e produtividade média de 5.415 kg ha⁻¹ (CONAB, 2024). A segunda safra representa a maior fração da produção nacional, evidenciando a eficiência dos sistemas de sucessão e intensificação agrícola. Grande parte da produção destina-se à formulação de rações, enquanto o restante atende ao consumo humano e à indústria (CONAB, 2024).

No contexto regional, estados nordestinos vêm ampliando sua participação produtiva, com destaque para áreas adaptadas às condições edafoclimáticas locais (IBGE, 2020). Em Sergipe, a cultura apresenta relevância econômica expressiva, contribuindo significativamente para a produção agrícola estadual (CNA, 2023).

2.2 Aspectos Fisiológicos e Nutricionais da Cultura

O desenvolvimento do milho é influenciado por fatores ambientais como temperatura, disponibilidade hídrica, radiação solar e condições do solo. A faixa térmica ideal situa-se entre 24 °C e 30 °C, condição que favorece o metabolismo e o crescimento vegetativo (EMBRAPA, 2015). Por apresentar metabolismo fotossintético C4, o milho possui elevada eficiência na assimilação de carbono em ambientes de alta luminosidade (TAIZ et al., 2017).

O ciclo fenológico varia conforme o material genético, sendo dividido em fases vegetativas (VE a VT) e reprodutivas (R1 a R6). As fases iniciais são determinantes para o estabelecimento da cultura, formação do sistema radicular e definição do potencial produtivo (CIAMPITTI; VYN, 2016).

Do ponto de vista nutricional, o milho apresenta elevada exigência em macronutrientes, especialmente nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). O nitrogênio está diretamente associado ao crescimento vegetativo e à síntese de proteínas, enquanto o fósforo desempenha papel central no metabolismo energético e no desenvolvimento radicular (COELHO et al., 2008). A deficiência nutricional em estádios iniciais compromete o vigor e o rendimento da cultura.

A eficiência da adubação, particularmente fosfatada, pode ser limitada em solos tropicais devido à fixação do fósforo por óxidos de ferro e alumínio. Nesse sentido, práticas como a calagem tornam-se essenciais para correção da acidez, redução da toxicidade por alumínio e melhoria da disponibilidade de nutrientes (COELHO et al., 2008).

2.3 Bioinsumos e Bactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (BPCP)

A crescente busca por sistemas agrícolas sustentáveis tem impulsionado o uso de bioinsumos, especialmente aqueles baseados em microrganismos benéficos. As bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) destacam-se por atuarem em diferentes processos fisiológicos e bioquímicos que favorecem o desenvolvimento vegetal (VESSEY, 2003).

Esses microrganismos promovem crescimento por mecanismos como fixação biológica de nitrogênio, solubilização de nutrientes, produção de fitormônios e modulação de respostas a estresses (GLICK, 1995). A produção ou regulação de fitormônios, incluindo auxinas, citocininas e giberelinas, influencia diretamente a divisão celular, alongação e desenvolvimento radicular (TAIZ et al., 2017).

2.3.1 Gênero *Bacillus*

Bactérias do gênero *Bacillus* são amplamente distribuídas em solos agrícolas e rizosferas. São Gram-positivas e caracterizam-se pela formação de endósporos, estruturas que conferem elevada resistência a condições ambientais adversas, favorecendo sua estabilidade em formulações comerciais (ZEIGLER, 2021).

Diversas espécies apresentam reconhecido potencial como BPCP, atuando na produção de metabólitos bioativos, promoção do crescimento vegetal, indução de resistência sistêmica e solubilização de nutrientes (MANDIC-MULEC et al., 2015).

Além dos mecanismos clássicos de promoção do crescimento, como a produção de fitormônios e a solubilização de nutrientes, espécies de *Bacillus* destacam-se pela capacidade de sintetizar exopolissacarídeos (EPS). Esses polímeros de açúcares secretados para o ambiente extracelular desempenham múltiplas funções de interesse agrônômico. Os EPS contribuem para a formação de biofilmes e agregados no solo, melhorando sua estrutura, porosidade e retenção de água, além de atuarem na mitigação de estresses abióticos como a seca e a salinidade (Liu et al., 2019; Petrillo et al., 2021).

A relação dos EPS com a Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) é indireta, porém relevante. Ao criarem microambientes com baixa tensão de oxigênio (microaerofilia) na rizosfera, os EPS protegem a enzima nitrogenase, que é altamente sensível ao O₂, favorecendo a conversão do N₂ atmosférico em amônio (Dixon; Kahn, 2004). Estudos com estirpes de *Bacillus cereus* isoladas da rizosfera de arroz demonstraram que a produção de EPS pode estar associada à capacidade de fixar nitrogênio, solubilizar fosfato e produzir ácido indolacético, evidenciando o potencial biotecnológico de estirpes que combinam esses atributos (Goswami et al., 2016). A síntese de EPS é regulada por fatores como a relação carbono/nitrogênio (C/N) e a fonte de nitrogênio disponível, aspectos importantes para a otimização de bioinoculantes comerciais (Shivaji et al., 2009). Portanto, a seleção de estirpes de *Bacillus* com elevada produção de EPS e capacidade comprovada de FBN representa uma estratégia promissora para o desenvolvimento de insumos biológicos mais eficientes e resilientes.

2.3.2 Gênero *Methylobacterium*

Methylobacterium spp. são bactérias Gram-negativas frequentemente associadas à filosfera e rizosfera. Possuem pigmentação rosada característica e elevada plasticidade metabólica, permitindo colonização de diferentes habitats (DOURADO, 2015).

Essas bactérias estão relacionadas à produção de fitormônios, estímulo ao crescimento vegetal e potencial contribuição para a fixação biológica de nitrogênio, além de influenciarem positivamente a fisiologia vegetal (GLICK, 1995).

2.4 Mecanismos Microbianos de Promoção de Crescimento

Entre os principais mecanismos associados às BPCP destacam-se:

Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN): Processo microbiológico no qual bactérias diazotróficas convertem N₂ atmosférico em NH₃ assimilável pelas plantas, mediado pela

enzima nitrogenase (BURRIS; ROBERTS, 1993). A FBN é regulada por fatores ambientais como disponibilidade de nitrogênio e concentração de oxigênio (DIXON; KAHN, 2004).

Solubilização de Fósforo: Microrganismos solubilizadores produzem ácidos orgânicos e enzimas capazes de liberar fósforo de formas pouco disponíveis no solo (AHEMAD; KIBRET, 2014).

Produção de Fitormônios: Auxinas, citocininas e giberelinas produzidas por bactérias influenciam o desenvolvimento radicular e o crescimento vegetativo (TAIZ et al., 2017).

Tolerância a Estresses Abióticos: BPCP podem modular respostas fisiológicas associadas à tolerância à seca, salinidade e outros estresses, promovendo maior resiliência vegetal (ZAREI et al., 2019).

2.5 Considerações Aplicadas ao Desenvolvimento Inicial

O desenvolvimento inicial do milho representa fase crítica para o estabelecimento da cultura. A formação de um sistema radicular eficiente, o acúmulo inicial de biomassa e o vigor vegetativo determinam a capacidade da planta em explorar o solo, absorver nutrientes e tolerar condições adversas (CIAMPITTI; VYN, 2016).

Nesse contexto, a inoculação com BPCP surge como estratégia promissora para otimizar o crescimento inicial, especialmente em solos de baixa fertilidade, podendo contribuir para maior eficiência nutricional e sustentabilidade do sistema produtivo (VESSEY, 2003).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em tubetes plásticos previamente lavados e sanitizados, preenchidos com Neossolo Quartzarênico, sem correção ou adubação. Para permitir o crescimento radicular além do volume do tubete e preservar a integridade das raízes, foram acoplados copos plásticos de 50 mL na base das unidades experimentais, conforme metodologia adaptada para estudos de arquitetura radicular em condições controladas (FERREIRA et al., 2018).

Foram utilizadas sementes de milho híbrido Pioneer® P3016, adquiridas em revenda autorizada. As plantas foram mantidas sob umidificação regular com água deionizada, em intervalos de dois a quatro dias, dependendo das condições climáticas (temperatura e precipitação), assegurando que o solo não permanecesse seco por longos períodos e que as plantas não apresentassem sintomas de déficit hídrico visível durante a fase experimental.

3.2 Local do Experimento

O estudo foi realizado nas instalações da BioWorld, localizadas no Parque Tecnológico SergipeTec, São Cristóvão – SE (10° 54' 36" S; 37° 04' 12" O). A região apresenta clima tropical de monção (Am), com temperatura média entre 24 °C e 27 °C e precipitação anual aproximada de 1.074 mm.

3.3 Obtenção e Isolamento dos Microrganismos

Os isolados bacterianos foram obtidos a partir de amostras de solo rizosférico coletadas em áreas agrícolas. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento da BioWorld, onde os microrganismos foram isolados e purificados utilizando técnicas microbiológicas padrão. (EMBRAPA, 2020).

As culturas purificadas foram preservadas para posterior multiplicação e utilização experimental.

3.4 Multiplicação e Preparo dos Inóculos

As cepas bacterianas foram cultivadas em meio Luria-Bertani (LB), composto por triptona, extrato de levedura e NaCl. As culturas foram incubadas em estufa tipo B.O.D. a 29 °C por 48 horas. Após o crescimento, as suspensões bacterianas foram preparadas em

condições assépticas, seguindo as recomendações técnicas do manual de boas práticas laboratoriais. (EMBRAPA,2020).

A concentração celular foi ajustada por densidade óptica ($DO_{600\text{ nm}}$), com base em curva de calibração previamente estabelecida, sendo padronizada para 1×10^8 UFC mL^{-1} mediante diluição em solução salina estéril (NaCl 0,85%).

3.5 Triagem para Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)

A avaliação qualitativa do potencial diazotrófico dos isolados foi realizada em meio líquido NFb, isento de fonte de nitrogênio e contendo azul de bromotimol como indicador de pH (DÖBEREINER et al., 1995).

Foram inoculados 5 mL de meio NFb por tubo de ensaio, com três repetições por isolado. Utilizou-se *Methylobacterium* spp. como controle positivo e, como controles negativos, meio sem inoculação e cultura de *Chromobacterium subsugae*. As amostras foram incubadas em B.O.D. a 30 °C por 72 horas.

A atividade diazotrófica foi inferida pela formação de película subsuperficial e alteração da coloração do meio para azul, indicativa de alcalinização (SANTOS et al., 2020). Ao final, o pH foi mensurado com pHmetro portátil e a absorbância determinada em espectrofotômetro a 600 nm.

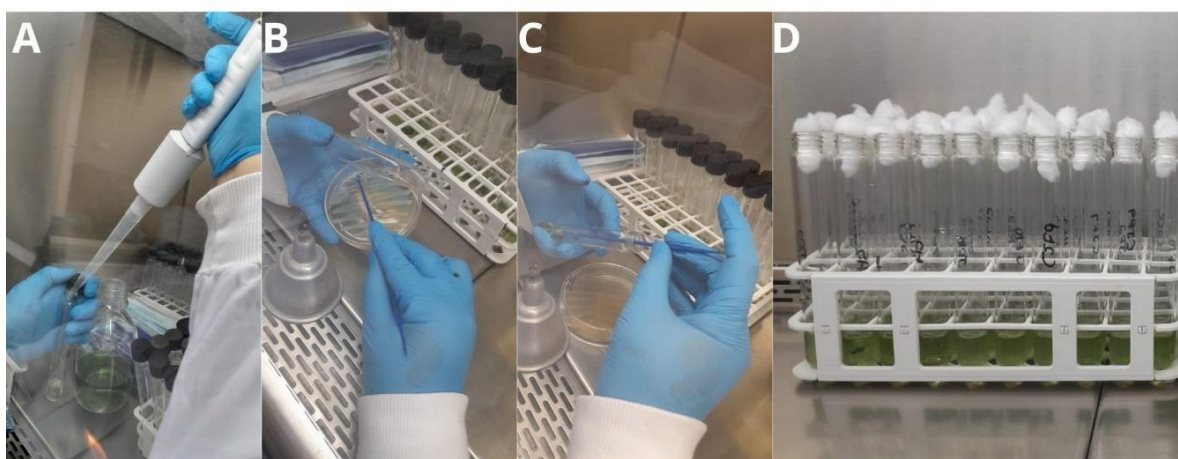


Figura 1. Processo de preparo e inoculação para o ensaio de potencial de fixador de Nitrogênio (A) inserção do meio FBN no tubo de ensaio; (B) raspagem da colônia com alça; (C) inoculação no tubo de ensaio; (D) meio de cultura com bactérias inoculadas.

3.6 Correlação de Spearman (pH x ABS)

A investigação da correlação estatística entre as variáveis pH e absorvância (OD600) foi fundamental para elucidar a dinâmica e a interdependência desses parâmetros no sistema biológico em estudo. A absorvância atua como um indicador fenotípico da atividade metabólica, refletindo a ocorrência e a extensão do fenômeno da FBN.

O Coeficiente de Correlação de Postos de Spearman (ρ) foi adotado como o modelo estatístico não paramétrico para esta análise. Esta escolha metodológica foi determinada pela sua superior robustez e resistência à influência de *outliers*, um fator frequentemente observado em dados provenientes de sistemas biológicos complexos e intrinsecamente variáveis. Adicionalmente, o emprego do método de Spearman se justifica pela sua capacidade de avaliar a monotonicidade da relação entre as variáveis. Ao mensurar a adequação da associação a uma função monotônica, onde as variáveis mantêm uma consistência direcional (crescente ou decrescente), o coeficiente (ρ) permite quantificar o grau de associação sem a premissa de uma linearidade estrita, característica exigida por métodos paramétricos como a correlação de Pearson.

Para este estudo, a análise estatística revelou uma correlação monotônica positiva de forte magnitude entre o pH do meio de cultura e a absorvância (DO600), sendo quantificada por um coeficiente de Spearman de $\rho = 0.679$

3.7 Inoculação das Sementes e Plantio

As sementes foram submetidas à inoculação em pré-plantio, aplicando-se 25 mL de suspensão bacteriana por kg de sementes, conforme padrão adotado para inoculantes comerciais. Após homogeneização, o plantio foi realizado em tubetes ($2,7 \times 2,7 \times 12,5$ cm) contendo Neossolo Quartzarênico.



Figura 2: Semente sendo inoculada.

Fonte: Autor

3.8 Avaliação do Crescimento Vegetal

As avaliações foram realizadas aos 14, 20 e 21 dias após a germinação.

Variáveis não destrutivas:

- Altura da parte aérea (régua milimetrada)
- Número de folhas

Variáveis destrutivas (21º dia):

- Comprimento radicular
- Massa fresca
- Massa seca

A massa fresca foi determinada por meio de pesagem imediata, utilizando-se balança analítica devidamente calibrada. Para obtenção da massa seca, as amostras foram secas em estufa de ventilação forçada a 65 °C por 72 horas, até peso constante (BENINCASA, 2003).



Figura 3: Instrumentos utilizados para as medições das plantas

Fonte: Autor

3.9 Delineamento Experimental e Análise Estatística

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com cinco tratamentos e cinco repetições.

Tratamentos:

1. *Methylobacterium* spp. (C1)
2. Isolado 6 (T1)
3. Isolado 8 (T2)
4. Isolado 12 (T3)

5. Água estéril (C2)

As variáveis analisadas foram altura de plantas, número de folhas, comprimento radicular, massa fresca e massa seca. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), utilizando o software SISVAR.



Figura 4: Experimento em andamento.

Fonte: Autor

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ensaio de FBN in vitro

Os dados apresentados a seguir referem-se especificamente aos resultados do ensaio de Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) conduzido em meio de cultura líquido, abrangendo os isolados microbianos provenientes das Fazendas Bioworld e Boa Vista.

Tabela 1. Médias dos tratamentos referentes à fixação biológica de nitrogênio (FNB) por isolados FBV, agrupados pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tratamentos	Médias	Resultados do teste					
13 FBV	0.64	a					
8 FBV	0.46		b				
12 FBV	0.40		b				
4 FBV	0.36			c			
15 FBV	0.36			c			
19 FBV	0.32			c			
5 FBV	0.31			c			
11 FBV	0.30			c			
20 FBV	0.28			c			
9 FBV	0.28			c			
1 FBV	0.24				d		
7 FBV	0.23				d		
<i>Methylobacterium</i>	0.20				d		
6 FBV	0.18				d		
3 FBV	0.17				d		
<i>Chromobacterium Subtsugae</i>	0.14				d		
18 FBV	0.12					e	
<i>Chromobacterium Subtsugae</i>	0.11					e	
2 FBV	0.05						f
Controle negativo	0.00						f

Letras iguais na coluna indicam que não houve diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). FBV: isolados bacterianos avaliados quanto à capacidade de fixação biológica de nitrogênio no meio FNB; *Methylobacterium* e *Chromobacterium subtsugae*: bactérias de referência; controle negativo: meio sem inoculação.

O teste de Scott-Knott evidenciou diferenças significativas entre os tratamentos avaliados quanto à capacidade de fixação biológica de nitrogênio (FBN), formando seis grupos distintos (a–f).

O tratamento 13 FBV apresentou o maior valor médio, destacando-se significativamente dos demais tratamentos e da bactéria de referência *Methylobacterium*. Esse resultado evidencia que o isolado 13 FBV foi mais eficiente na fixação biológica de nitrogênio, demonstrando elevada capacidade de assimilação de N₂ no meio FNB.

Outros isolados FBV, pertencentes aos grupos “b” e “c”, também apresentaram desempenho superior ao observado para *Methylobacterium*, indicando que esses microrganismos possuem potencial promissor de fixação biológica de nitrogênio.

A Figura 5 apresenta a distribuição dos valores de pH final nos diferentes tratamentos avaliados em meio FNB.

Observou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos, com valores de pH variando entre 7,0 e 8,6. Os tratamentos 1 FBV, 11 FBV e 12 FBV apresentaram os maiores valores médios de pH, indicando forte alcalinização do meio, que pode estar associado à intensa atividade metabólica de bactérias com alto potencial de fixação de nitrogênio.

Os tratamentos 13 FBV, 15 FBV, 3 FBV, 6 FBV, 7 FBV e 8 FBV apresentaram valores intermediários de pH, sugerindo atividade metabólica moderada e capacidade parcial de modificar o pH do meio.

Em contraste, os tratamentos 18 FBV, 19 FBV, 2 FBV e 20 FBV, bem como o controle negativo, apresentaram valores mais baixos de pH, indicando pouca ou nenhuma atividade metabólica de fixação de nitrogênio.

Os controles positivos contendo a *Methylobacterium* apresentou valores de pH em torno de 8,2 indicando capacidade de alterar o pH do meio e maior potencial para fixação biológica de nitrogênio.

Os tratamentos com *Chromobacterium subtsugae* apresentaram valores de pH próximos de 7,8 indicando baixa capacidade de alcalinização do meio e atividade metabólica limitada.

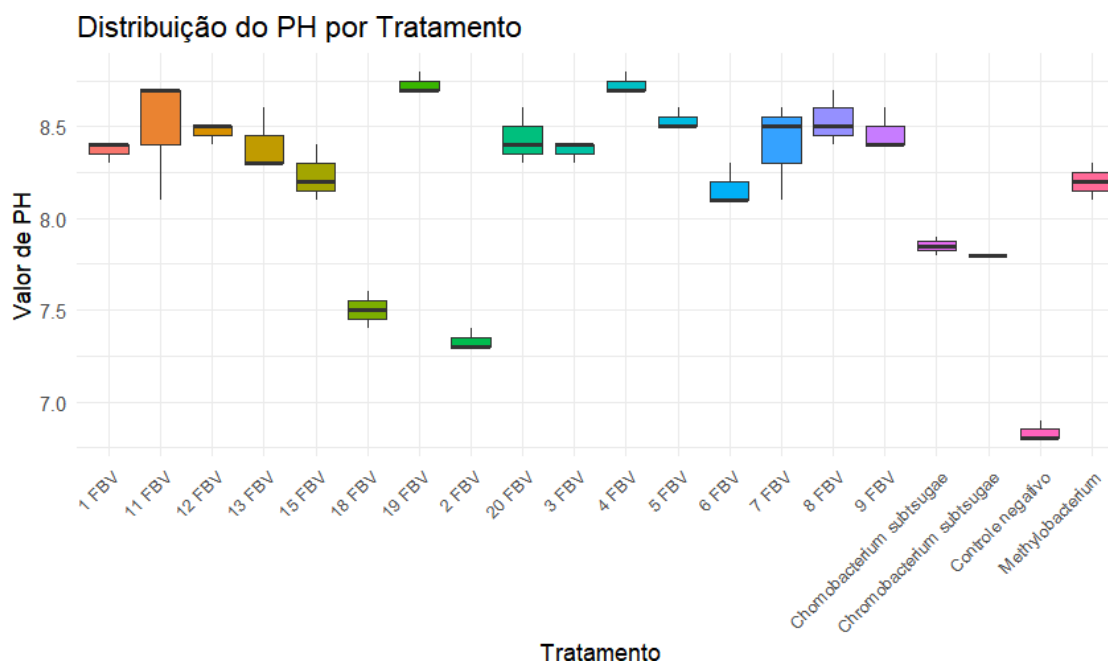


Figura 5. Distribuição do pH por tratamento

A Figura 6 apresenta a variação da absorbância (OD_{600}) observada entre os diferentes tratamentos avaliados em meio FNB, utilizada como indicador do crescimento microbiano e, indiretamente, da atividade de fixação biológica de nitrogênio.

Verificou-se diferença expressiva entre os tratamentos, evidenciando a diversidade fisiológica entre os isolados da Fazenda Boa Vista. Os tratamentos 13 FBV e 12 FBV apresentaram as maiores médias de absorbância, atingindo valores próximos de 0,6, o que indica elevado crescimento celular e forte adaptação ao meio FNB, sugerindo alta capacidade metabólica compatível com a atividade fixadora de nitrogênio.

Outros isolados, como 11 FBV, 15 FBV e 7 FBV, apresentaram valores intermediários de absorbância (entre 0,3 e 0,5), demonstrando bom desempenho fisiológico, embora inferior aos melhores tratamentos. Já os isolados 2 FBV, 8 FBV e 9 FBV exibiram baixos valores de absorbância ($<0,1$), o que indica crescimento limitado ou ausência de adaptação ao meio.

O tratamento positivo com *Methylobacterium* apresentou valores médios de absorvância evidenciando crescimento considerável no meio FNB e atividade fixadora de nitrogênio. O tratamento com *Chromobacterium subtsugae* apresentou valores médios de absorvância indicando baixo crescimento celular e adaptação ao meio logo sem fixação biológica de nitrogênio.

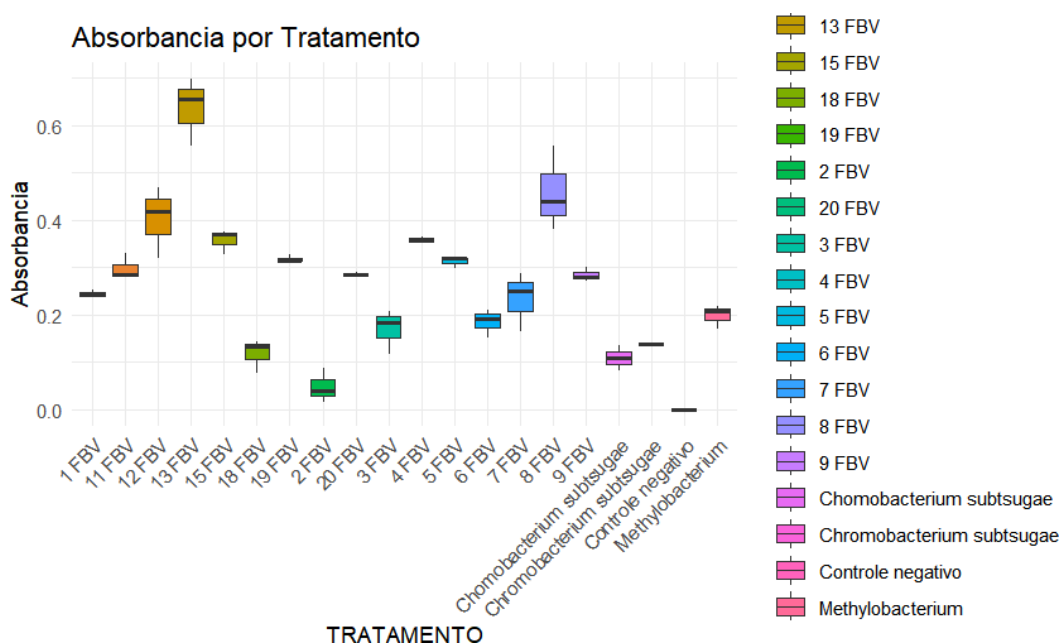


Figura 6. Absorbância para os tratamentos

A figura 7 representa a correlação entre o pH e a absorvância para os diferentes tratamentos avaliados. Observa-se uma tendência linear positiva, indicando que o aumento do pH está relacionado a uma elevação gradual da absorvância. Essa relação sugere que, em condições mais alcalinas, houve maior atividade microbiana associada à fixação biológica de nitrogênio, o que se refletiu no aumento da densidade óptica do meio. Portanto, o comportamento observado confirma que a variável pH exerce influência direta e positiva sobre a absorvância, podendo ser considerada um indicativo da resposta fisiológica dos microrganismos a fixação biológica de nitrogênio.

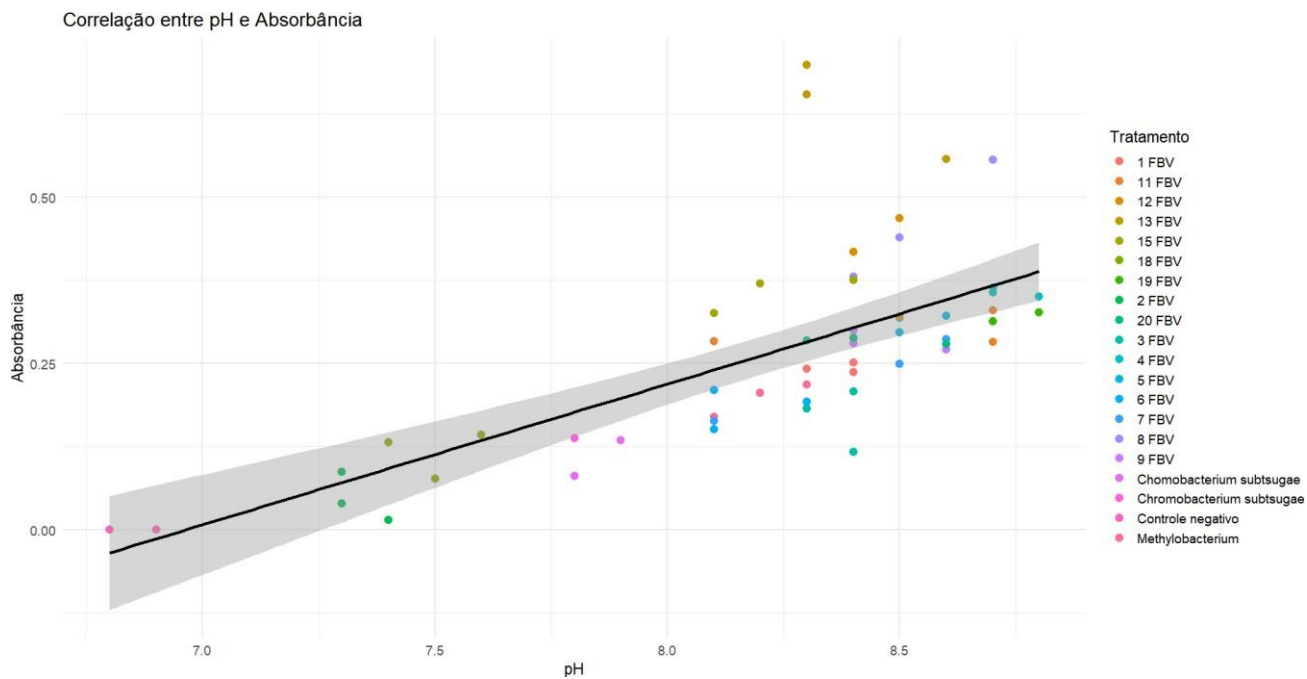


Figura 7. Correlação entre pH e absorbância

Tabela 2. Médias dos tratamentos referentes à fixação biológica de nitrogênio (FBN) por isolados FBW, agrupados pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tratamentos	Médias	Resultados do teste	
6 FBW	0.33	a	
12 FBW	0.32	a	
18 FBW	0.32	a	
10 FBW	0.31	a	
23 FBW	0.28		b
17 FBW	0.27		b
14 FBW	0.27		b
7 FBW	0.27		b
8 FBW	0.26		b
11 FBW	0.23		c
24 FBW	0.22		c
15 FBW	0.20		c
<i>Methylobacterium</i>	0.20		c
1 FBW	0.18		d
4 FBW	0.16		d
9 FBW	0.16		d
21 FBW	0.16		d
<i>Chromobacterium subtsugae</i>	0.14		d
13 FBW	0.14		d
5 FBW	0.11		d
<i>Chromobacterium subtsugae</i>	0.11		d
2 FBW	0.10		d
22 FBW	0.08		e
3 FBW	0.06		e
16 FBW	0.06		e
19 FBW	0.02		f
Controle negativo	0.00		f

Letras iguais na coluna indicam que não houve diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). FBW: isolados bacterianos avaliados quanto à capacidade de fixação biológica de nitrogênio no meio FNB; *Methylobacterium* e *Chromobacterium subtsugae*: bactérias de referência; controle negativo: meio sem inoculação.

Os tratamentos 6 FBW, 12 FBW, 18 FBW e 10 FBW apresentaram os maiores valores médios, destacando-se significativamente dos demais tratamentos e da bactéria de referência *Methylobacterium*. Esses resultados demonstram que os isolados pertencentes ao grupo “a” possuem elevado potencial para fixação biológica de nitrogênio no meio FNB.

Os isolados 23 FBW, 17 FBW, 14 FBW, 7 FBW e 8 FBW, classificados no grupo “b”, também apresentaram médias superiores à bactéria de referência, indicando que esses microrganismos também são promissores quanto à capacidade de fixar nitrogênio atmosférico.

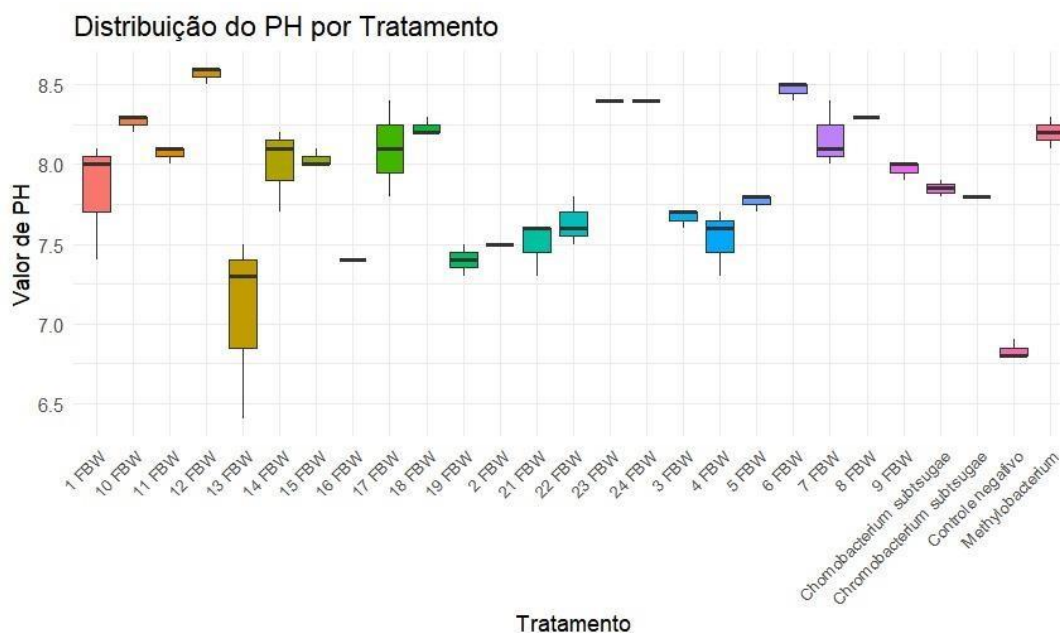
A Figura 8 apresenta a variação do pH nos diferentes tratamentos avaliados. Observa-se que os valores de pH variaram entre aproximadamente **6,8 e 8,6**, indicando diferenças expressivas entre os isolados quanto à capacidade de alterar a acidez do meio.

Os tratamentos 6 FBW, 12 FBW, 18 FBW e 10 FBW apresentaram os maiores valores médios de pH, o que demonstra maior capacidade de alcalinização do meio de cultura. Esse comportamento pode estar associado à produção de metabólitos básicos ou à utilização de compostos ácidos.

Os tratamentos 23 FBW, 17 FBW, 14 FBW e 7 FBW exibiram valores médios inferiores, caracterizando menor capacidade de elevação do pH.

O tratamento contendo *Methylobacterium* apresentou valores de pH elevados. Evidenciando que o controle positivo promoveu maior alcalinização do meio de cultura, o que está em conformidade com sua atividade metabólica característica, associada à fixação biológica de nitrogênio (FNB).

Em contrapartida, o tratamento com *Chromobacterium subtsugae* apresentou valores de pH próximos à neutralidade, indicando menor capacidade de modificação do meio FNB. Esse comportamento reflete uma atividade metabólica mais estável e moderada, possivelmente associada a menor produção de metabólitos alcalinos.

Figura 8. Distribuição do pH por tratamento

A Figura 9 apresenta a variação dos valores de absorvância (OD_{600}) observados entre os diferentes tratamentos testados em meio FNB, utilizado como parâmetro do crescimento microbiano e da atividade potencial de fixação biológica de nitrogênio.

Observa-se ampla variação entre os tratamentos, indicando diferenças no desempenho fisiológico dos isolados avaliados. Os tratamentos 13 FBW e 17 FBW destacaram-se com as maiores médias de absorvância, atingindo valores próximos de 0,3, sugerindo elevado crescimento celular e boa adaptação ao meio FNB, possivelmente associados a maior capacidade metabólica e potencial fixador de nitrogênio.

Isolados como 10 FBW, 14 FBW e 18 FBW apresentaram valores intermediários, indicando crescimento moderado e adaptação parcial às condições do meio. Em contrapartida, os tratamentos 2 FBW, 8 FBW, 9 FBW e *Chromobacterium subtsugae* mostraram valores baixos de absorvância, indicando baixa adaptação ao meio e ausência de atividade fixadora significativa.

O tratamento com *Methylobacterium*, utilizado como controle positivo, apresentou valores de absorvância consistentes com bom crescimento e atividade de fixação biológica de nitrogênio.

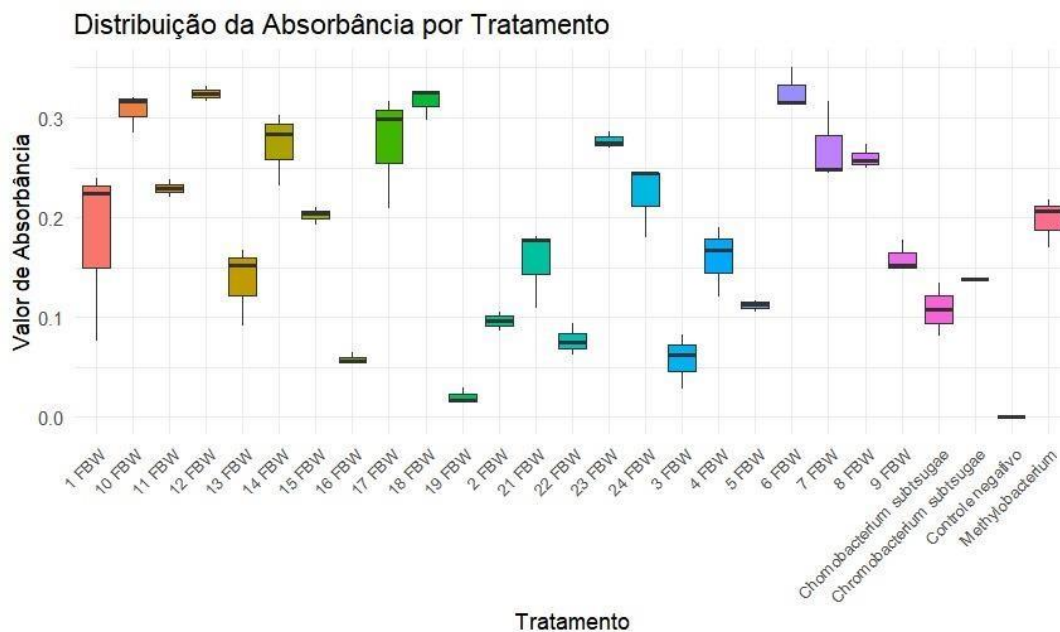


Figura 9. Absorbância por tratamento

A Figura 10 apresenta a correlação entre o pH final e a absorbância (OD_{600}) das amostras cultivadas em meio NFB, sob diferentes tratamentos. Observa-se uma forte correlação positiva entre as variáveis, indicando que o aumento do pH final está associado ao incremento na absorbância, ou seja, ao maior crescimento microbiano no meio de cultura. Essa tendência sugere que os microrganismos capazes de crescer mais intensamente também promoveram maior alcalinização do meio, o que é consistente com a atividade metabólica típica de bactérias fixadoras de nitrogênio, que consomem compostos ácidos e liberam substâncias alcalinas durante o metabolismo.

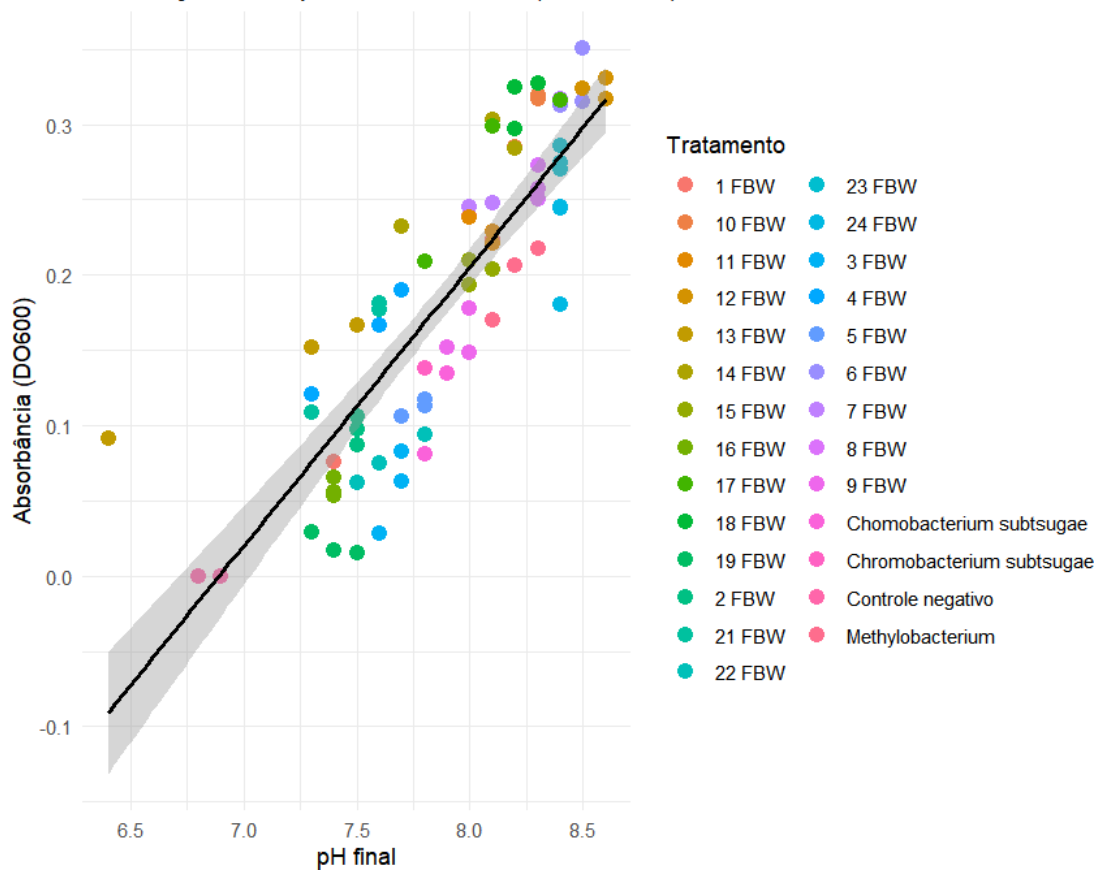


Figura 10. Correlação entre pH e absorbância

4.1 Altura de plantas

Não houve efeito significativo dos tratamentos sobre a altura das plantas aos 14 dias ($*p* = 0,2333$). Também não foi observado efeito significativo das repetições ($*p* = 0,2804$). O coeficiente de variação foi elevado ($CV = 66,24\%$), indicando alta variabilidade entre as unidades experimentais.

Esses resultados contrastam com estudos que, em condições controladas e com substrato estéril, observaram incrementos precoces no crescimento. Kloepper et al. (1989), por exemplo, demonstraram que plântulas de milho inoculadas com *Pseudomonas fluorescens* apresentaram, aos 14 dias após a germinação, um incremento de 25% na biomassa seca da parte aérea e 30% no sistema radicular em comparação ao controle não-inoculado. É crucial notar, no entanto, que o experimento dos autores foi conduzido com adubação de fundação (N-P-K) e substrato estéril, condições que maximizam a expressão do potencial dos inoculantes ao eliminar a competição microbiana e suprir deficiências nutricionais iniciais.

Os resultados obtidos no presente estudo indicam que, na fase inicial de desenvolvimento (14 dias), os tratamentos ainda não foram capazes de promover diferenças consistentes na altura das plantas. A alta variabilidade experimental, somada à condição de estresse nutricional imposta pelo solo de baixa fertilidade (Neossolo Quartzarênico), ajuda a explicar a ausência de significância. Conforme a "Lei do Mínimo" de Liebig, o crescimento vegetal é limitado pelo recurso em menor disponibilidade. Em um solo extremamente pobre, a falta de nutrientes prontamente disponíveis, como nitrogênio e fósforo, pode ter suprimido a capacidade de resposta das plantas aos fitormônios produzidos pelas bactérias, como as auxinas, que atuam na alongação celular e seriam um dos principais motores para o aumento da altura.

Assim como observado aos 14 dias, não houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos para a altura das plantas aos 20 dias (*p* = 0,2951). O fator repetição também não foi significativo (*p* = 0,4335). O CV foi de 39,09%, considerado moderado.

Apesar do aumento da média geral de altura em relação ao 14º dia, os tratamentos mantiveram comportamento estatisticamente semelhante. Isso sugere que os mecanismos de promoção de crescimento, como a fixação biológica de nitrogênio (FBN) e a solubilização de nutrientes, podem não ter se estabelecido de forma plena e diferenciada entre os tratamentos até este estágio fenológico (aproximadamente V3-V4).

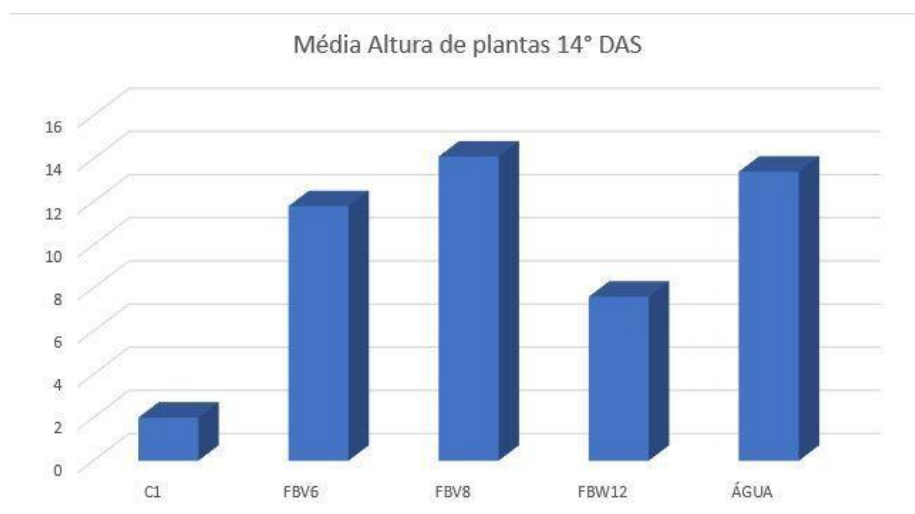


Figura 11: Gráfico Altura de plantas 14º dia

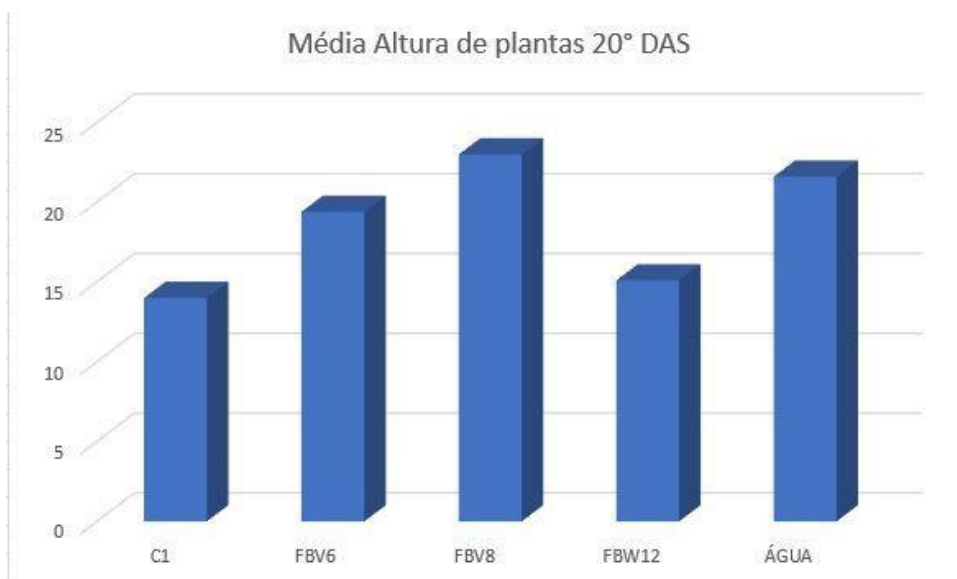


Figura 12: Gráfico Altura de plantas 20° dia

4.2 Comprimento de raiz

O comprimento de raiz não apresentou diferença significativa entre tratamentos ($*p* = 0,2204$). Observou-se uma tendência de efeito das repetições ($*p* = 0,0820$), embora não significativa a 5%. O CV foi de 31,41%, considerado aceitável para variáveis de crescimento radicular. Entre as repetições, algumas unidades experimentais apresentaram tendência de crescimento acima da média do experimento.

A rizosfera é um ambiente de alta complexidade e competição. Embora a tendência observada entre repetições possa sugerir uma influência de micro heterogeneidades no substrato (como pequenas variações na compactação ou umidade), é possível que também reflita uma interação inicial, ainda que inconsistente, com os isolados.

Estudos mais específicos, como o de Monteiro et al. (2012), demonstram que o tratamento de sementes com *Herbaspirillum seropedicae* pode estimular a proliferação de raízes laterais e pelos radiculares em milho, resultando em um volume radicular 40% maior aos 21 DAS. Este estímulo ao sistema radicular é um dos principais mecanismos de ação das BPCPs, mediado pela produção de fitormônios como o ácido indolacético (AIA), que promovem a formação de raízes laterais e aumentam a superfície de contato solo-raiz, potencializando a absorção de água e nutrientes. Nossos resultados, embora não significativos, apontam para uma tendência numérica que merece investigação, sugerindo que o isolado T2 (FBV 08) possa estar exercendo algum efeito sobre a arquitetura radicular.



Figura 13: Gráfico comprimento de raiz.

4.3 Número de folhas

Não houve efeito significativo dos tratamentos ($*p* = 0,3684$) nem das repetições ($*p* = 0,7748$) sobre o número de folhas. O CV foi de 40,78%.

O número de folhas é uma variável fortemente determinada geneticamente e pelo estágio fenológico, sendo menos plástica em resposta a estímulos de curto prazo. O crescimento uniforme dessa variável entre os tratamentos indica que, até o 20º dia, a emissão foliar seguiu o padrão esperado para a cultura, sem influência significativa dos fatores avaliados. É interessante notar, no entanto, que o tratamento T2 apresentou a maior média numérica (3,2 folhas), um incremento de 60% em comparação com o controle C1 (2,0 folhas). Embora não significativo estatisticamente, esse dado sugere uma possível associação fisiológica que poderia se traduzir em maior área foliar e potencial fotossintético em estádios mais avançados.

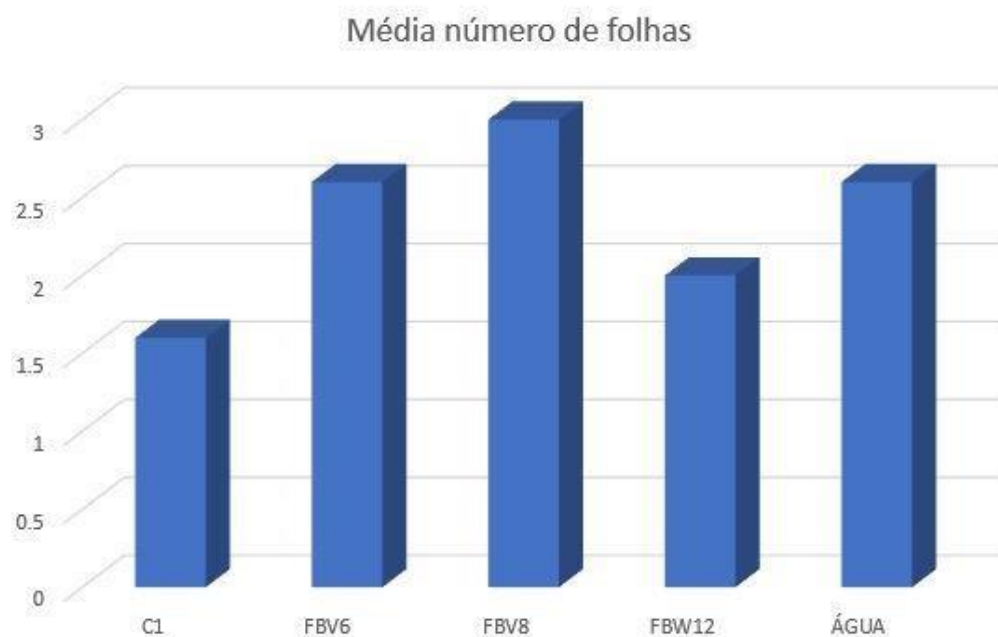


Figura 14: Gráfico
Número de folhas

4.4 Massa fresca

Aos 21 dias após a semeadura, os tratamentos não apresentaram efeito significativo sobre a massa fresca da parte aérea ($*p* = 0,4529$). As repetições também não diferiram estatisticamente entre si ($*p* = 0,0505$). O coeficiente de variação foi de 40,84%, indicando variabilidade moderada-alta nos dados. As médias dos tratamentos variaram de 1,208 g (T1) a 1,850 g (T2), representando uma diferença numérica de 53% entre os extremos. O tratamento T2 apresentou a maior massa fresca média (1,850 g), seguido por T3 (1,844 g) e C2 (1,776 g).

A massa fresca é um reflexo do conteúdo de água nos tecidos, que por sua vez está ligado à capacidade de absorção radicular e às condições de turgescência celular. A diferença numérica de 53% entre o melhor (T2) e o pior tratamento (T1) é biologicamente relevante e sugere que, sob condições menos limitantes, esse potencial poderia se traduzir em ganhos significativos de biomassa.

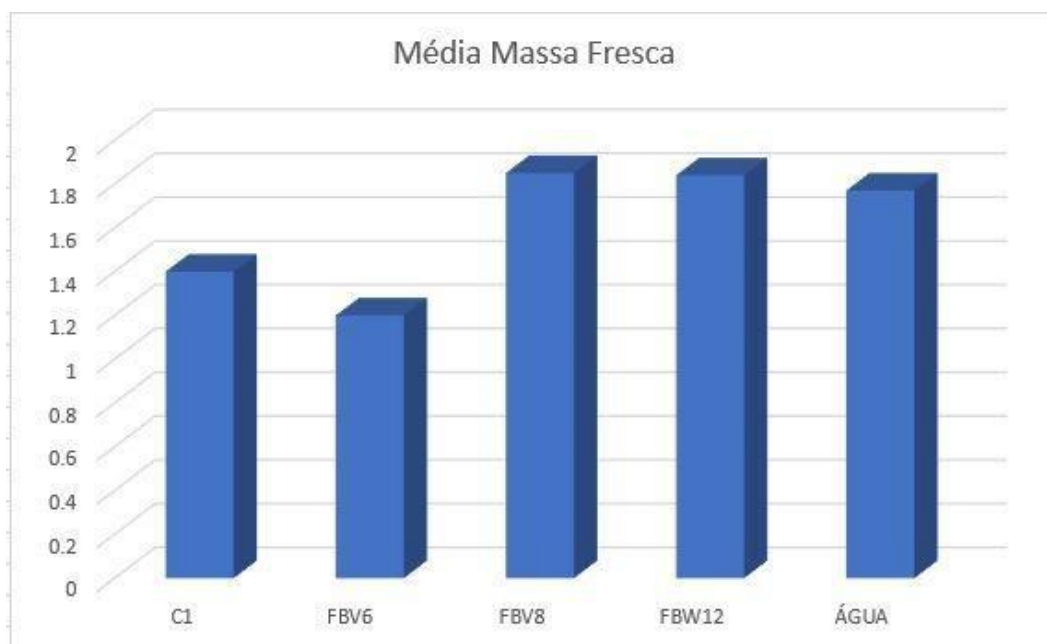


Figura 15: Gráfico Massa Fresca

4.5 Massa Seca

Não houve efeito significativo dos tratamentos sobre a massa seca da parte aérea aos 21 dias ($*p* = 0,9756$). As repetições também não diferiram estatisticamente ($*p* = 0,3925$). O coeficiente de variação foi elevado (68,44%), indicando alta dispersão nos dados.

A massa seca é a medida mais direta do acúmulo de fotoassimilados e do crescimento efetivo da planta. A alta variabilidade ($CV > 68\%$) pode estar associada a diferenças individuais na capacidade de estabelecimento das plântulas em um substrato com limitações severas. As médias dos tratamentos variaram apenas 0,076 g, com T2 apresentando o maior valor (0,372 g) e T3 o menor (0,296 g). O teste de Tukey agrupou todas as médias em um único nível de significância, confirmando a ausência de diferenças estatísticas.



Figura 16: Gráfico Massa Seca

4.6 Síntese geral dos resultados

Apesar da ausência de diferenças estatisticamente significativas $p > 0.05$ em todas as análises observou-se um padrão consistente de desempenho entre os tratamentos. O tratamento T2 destacou-se com os maiores valores médios em quatro das cinco variáveis avaliadas: altura (23,0 cm), massa fresca (1,85 g), comprimento de raiz (19,7 cm) e número de folhas (3,2). Essas médias representaram incrementos de 53% a 63% em relação ao controle positivo (C1) que apresentou menores médias numéricas neste ensaio específico.

A consistência do tratamento T2 em apresentar os melhores resultados numéricos em múltiplas variáveis de crescimento sugere um efeito biológico positivo, ainda que não detectado como estatisticamente significativo nas condições experimentais testadas. A alta

variabilidade dos dados (CV entre 31-68%) e o limitado número de repetições (n=5) podem ter reduzido o poder estatístico do experimento, mascarando diferenças biologicamente relevante.

TABELA 3: Comparativo entre as médias do experimento.

Tratamento	Altura (cm)	Massa Fresca (g)	Massa Seca (g)	Comp. Raiz (cm)	Nº Folhas
C1	14,1	1,418	0,368	12,8	1,6
T3	15,1	1,844	0,296	14,9	2,2
T1	19,4	1,208	0,366	18,9	2,6
C2	20,5	1,776	0,314	15,2	2,2
T2	23,0	1,850	0,372	19,7	3,0

Methylobacterium (C1), isolado 6 FBV, (T1), isolado 8 FBV (T2), isolado 12 FBW (T3),
Água pura (C2).



Figura 17: Plantas inoculadas com *Methylobacterium*.

Fonte: Autor



Figura 18: Plantas inoculadas com FBV 08

Fonte: Autor

5. CONCLUSÕES

Os resultados do presente estudo sugerem que o tratamento T2 apresentou o melhor desempenho numérico em termos de crescimento vegetal, sugerindo um efeito promotor de crescimento promissor da bactéria inoculada.

Recomenda-se, portanto, a condução de novos experimentos com maior poder estatístico, como aumentar o número de repetições e em condições que permitam melhor avaliação do potencial das bactérias, como a adubação de fundação ou a utilização de solos com fertilidade moderada. Estudos futuros poderiam também incluir a identificação molecular das cepas e a avaliação da expressão de genes *nif* em condições de estresse, para elucidar os mecanismos de ação envolvidos. Apesar das limitações impostas pelo solo arenoso, os resultados reforçam a viabilidade das BPCPS como estratégia sustentável para a nutrição e o crescimento do milho, especialmente em sistemas que buscam reduzir a dependência de insumos químicos.

6. 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. Disponível em: <https://jksus.org/mechanisms-and-applications-of-plant-growth-promoting-rhizobacteria-current-perspective/>. Acesso em: 20 ago. 2025.

ALVES, A. A. et al. Análise de crescimento vegetal: conceitos e práticas. *Revista Agro@ambiente*, v. 13, p. 1-15, 2019.

BENINCASA, M. M. P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003.

BURRIS, R. H.; ROBERTS, G. P. Biological nitrogen fixation. *Annual Review of Nutrition*, Palo Alto, v. 13, p. 317–335, 1993.

CASTRO, V. L. S. S.; MELO, I. S. Avaliação toxicopatológica em ratos expostos à *Pseudomonas putida*. *Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology*, v. 2, n. 1, p. 1-5, 2007. DOI: 10.5132/jbse.2007.01.001.

CIAMPITTI, I. A. et al. Physiological bases for maize production. In: *Corn: Growth, Development and Yield*. Madison: CSSA, 2016.

CNA – CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. Sealba Show e exportação do milho de Sergipe mostram a potência do Agro no Nordeste. 2023. Disponível em: <https://cnabrasil.org.br/noticias/sealba-show-e-exportacao-do-milho-de-sergipe-mostrama-potencia-do-agro-nonordeste>. Acesso em: 20 ago. 2025.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2022/2023. 12. Levantamento. 2023. Disponível

em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/gaos/boletim-da-safra-de-gaos>. Acesso em: 20 ago. 2025.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. A Produção de Milho na Nova Fronteira Agrícola: SEALBA. Indicadores da Agropecuária, n. 03, jun. 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/indicadores-da-agropecuaria?start=10>. Acesso em: 20 ago. 2025.

COELHO, A. M. et al. Nutrição e adubação do milho. In: CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R.; MAGALHÃES, P. C. (ed.). A cultura do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. cap. 6, p. 131-157.

DIAS, A. S.; SANTOS, C. C. Bactérias promotoras de crescimento de plantas: conceitos e potencial de uso. Nova Xavantina, MT: Pantanal, 2022.

DIXON, R.; KAHN, D. Genetic regulation of biological nitrogen fixation. *Nature Reviews Microbiology*, Londres, v. 2, n. 8, p. 621–631, 2004.

DOURADO, M. N. et al. Biotechnological and Agronomic Potential of Endophytic Pink-Pigmented Methylophilic spp.. *BioMed Research International*, v. 2015, p. 1-19, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2015/909016>. Acesso em: 20 ago. 2025.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistemas de produção Embrapa: cultivo do milho. 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/cultivos-criacoes-e-sistemas-de-producao>. Acesso em: 20 ago. 2025.

EMBRAPA. Bactéria encontrada no mandacaru vira bioproduto que promove tolerância à seca em plantas. 2021. Disponível em: [link não fornecido]. Acesso em: 20 ago. 2025.

FERREIRA, D. F. et al. Técnicas para avaliação não destrutiva do sistema radicular. In: Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa, MG: SBCS, 2018. p. 287-320.

GLICK, B. R. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Canadian Journal of Microbiology*, Ottawa, v. 41, n. 2, p. 109–117, 1995.

GOSWAMI, D.; THAKKER, J. N.; DHANDHUKIA, P. C. Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): a review. *Cogent Food & Agriculture*, v. 2, n. 1, 2016. Disponível

em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311932.2015.1127500>. Acesso em: 20 ago. 2025.

GRAY, E. J.; SMITH, D. L. Intracellular and extracellular PGPR: commonalities and distinctions in the plant-bacterium signaling processes. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 37, n. 3, p. 395-412, 2005. DOI: 10.1016/j.soilbio.2004.08.030.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção Agrícola – Lavoura Temporária. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/se/pesquisa/14/10193?ano=2020>. Acesso em: 20 ago. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. PAM – Produção Agrícola Municipal: Tabelas – 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>. Acesso em: 20 ago. 2025.

KLOEPPER, J. W.; LIFSHITZ, R.; ZABLOTOWICZ, R. M. Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. *Trends in Biotechnology*, v. 7, p. 39-43, 1989.

LIU, Y. et al. Diversity and distribution of *Bacillus* species. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 103, p. 1-12, 2019.

MANDIC-MULEC, I. et al. *Bacillus* colony morphology and physiology. *Microbial Ecology*, v. 70, p. 1-10, 2015.

MARIANO, B. R. C. Produtividade do feijoeiro em resposta a inoculação de bactérias hidrocapacitoras sob déficit hídrico. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2022.

MONTÁÑEZ, A.; ABREU, C. Interações planta-bactéria em gramíneas: da colonização à expressão fenotípica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 45, e0210123, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20210123>. Acesso em: 26 jan. 2026.

OLIVEIRA, C. O que você precisa saber sobre fenologia do milho. 2021. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/fenologia-do-milho/>. Acesso em: 20 ago. 2025.

OKON, Y.; LABANDERA-GONZALES, C. A. Agronomic applications of *Azospirillum*. In: RYDER, M. H.; STEPHENS, P. M.; BOWEN, G. D. (Ed.). *Improving Plant Productivity*

with Rhizosphere Bacteria. Adelaide: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, 1994. p. 274-278.

PEREIRA, S. I. A. et al. *Bacillus subtilis* improves maize growth and induces physiological and biochemical responses under drought conditions. *Acta Physiologiae Plantarum*, v. 42, 2020.

PETRILLO, M. et al. Biotechnological applications of *Bacillus*. *Journal of Biotechnology*, v. 15, p. 1-20, 2021.

SHIVAJI, S. et al. *Janibacter hoylei* sp. nov., *Bacillus isronensis* sp. nov. and *Bacillus aryabhatai* sp. nov., isolated from cryotubes used for collecting air from the upper atmosphere. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, v. 59, p. 2977-2986, 2009.

TAIZ, L. et al. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Grain: World Markets and Trade. 2024. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2025.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Production, Supply and Distribution (PSD) on line. 2024. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>. Acesso em: 20 ago. 2025.

VESSEY, J. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 255, n. 2, p. 571–586, 2003.

ZAREI, T. et al. Melhorando o crescimento e o rendimento do milho doce (*Zea mays* L. var. *saccharata*) usando a inoculação de *Pseudomonas fluorescens* sob regimes de rega variados. *Agricultural Water Management*, v. 226, 2019.

ZEIGLER, D. R. History of *Bacillus* taxonomy. *Journal of Bacteriology*, v. 203, p. 1-10, 2021.

DIXON, R.; KAHN, D. Genetic regulation of biological nitrogen fixation. *Nature Reviews Microbiology*, Londres, v. 2, n. 8, p. 621-631, 2004.

GOSWAMI, D.; THAKKER, J. N.; DHANDHUKIA, P. C. Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): a review. *Cogent Food & Agriculture*, v. 2, n. 1, 2016.

LIU, Y. et al. Diversity and distribution of *Bacillus* species. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 103, p. 1-12, 2019.

PETRILLO, M. et al. Biotechnological applications of *Bacillus*. *Journal of Biotechnology*, v. 15, p. 1-20, 2021.

SHIVAJI, S. et al. *Janibacter hoylei* sp. nov., *Bacillus isronensis* sp. nov. and *Bacillus aryabhatai* sp. nov., isolated from cryotubes used for collecting air from the upper atmosphere. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, v. 59, p. 2977-2986, 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Sergipe amplia área produtiva e produtividade e chega a 1,1 milhão de toneladas de grãos na safra 24/25. [Gov.br](https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias-regionalizadas/safra-de-graos-2024-2025/sergipe-amplia-area-produtiva-e-produtividade-e-chega-a-1-1-milhao-de-toneladas-de-graos-na-safra-24-25), 12 set. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias-regionalizadas/safra-de-graos-2024-2025/sergipe-amplia-area-produtiva-e-produtividade-e-chega-a-1-1-milhao-de-toneladas-de-graos-na-safra-24-25>.

Acesso em: 22 fev. 2026.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária (ou a Unidade específica, ex.: Embrapa Meio Ambiente). *Boas práticas em laboratórios de microbiologia do solo: procedimentos para manutenção da pureza e segurança*. Brasília, DF: Embrapa, 2020. 100 p. (Série Documentos, 123).

DÖBEREINER, J.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I. **Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não-leguminosas**. Brasília: Embrapa-SPI; Itaguaí: Embrapa-CNPAB, 1995. 60 p.

ANEXOS

Variável analisada: ALTURA_DE_

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	325.000000	81.250000	1.558	0.2333
REPETICAO	4	290.800000	72.700000	1.394	0.2804
erro	16	834.200000	52.137500		
Total corrigido	24	1450.000000			
CV (%) =	66.24				
Média geral:	10.9000000	Número de observações:	25		

 Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

DMS: 13.9951338011653 NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 5
 Erro padrão: 3.2291639784935

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
C1	6.000000 a1	
T3	7.600000 a1	
T1	11.800000 a1	
C2	13.400000 a1	
T2	15.700000 a1	

 Teste Tukey para a FV REPETICAO

DMS: 13.9951338011653 NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 5
 Erro padrão: 3.2291639784935

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
3	6.400000 a1	
1	8.700000 a1	
2	11.200000 a1	
5	11.600000 a1	
4	16.600000 a1	

Variável analisada: ALTURA_DE_

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	279.740000	69.935000	1.349	0.2951
REPETI_O	4	208.540000	52.135000	1.006	0.4335
erro	16	829.560000	51.847500		
Total corrigido	24	1317.840000			
CV (%) =	39.09				
Média geral:	18.4200000	Número de observações:	25		

Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

DMS: 13.9561575533687 NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 5

Erro padrão: 3.22017080292335

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
C1	14.100000 a1	
T3	15.100000 a1	
T1	19.400000 a1	
C2	20.500000 a1	
T2	23.000000 a1	

 Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

DMS: 13.9561575533687 NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 5
 Erro padrão: 3.22017080292335

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
C1	14.100000 a1	
T3	15.100000 a1	
T1	19.400000 a1	
C2	20.500000 a1	
T2	23.000000 a1	

Variável analisada: COMPRIMENTO DE RAIZ

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	168.700000	42.175000	1.609	0.2204
REP	4	264.400000	66.100000	2.522	0.0820
erro	16	419.400000	26.212500		
Total corrigido	24	852.500000			
CV (%) =	31.41				
Média geral:	16.3000000	Número de observações:	25		

 Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

DMS: 9.92330123691168 NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 5
 Erro padrão: 2.28965062837106

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
C1	12.800000 a1	
T3	14.900000 a1	
C2	15.200000 a1	
T1	18.900000 a1	
T2	19.700000 a1	

Variável analisada: MASSA_FRES

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	1.689784	0.422446	0.966	0.4529
REPETI_O_	4	5.242304	1.310576	2.997	0.0505
erro	16	6.996896	0.437306		
Total corrigido	24	13.928984			
CV (%) =	40.84				

Média geral: 1.6192000 Número de observações: 25

Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

DMS: 1.28172445762947 NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 5
 Erro padrão: 0.29573839791275

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
T1	1.208000 a1	
C1	1.418000 a1	
C2	1.776000 a1	
T3	1.844000 a1	
T2	1.850000 a1	

Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

DMS: 1.28172445762947 NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 5
 Erro padrão: 0.29573839791275

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
T1	1.208000 a1	
C1	1.418000 a1	
C2	1.776000 a1	
T3	1.844000 a1	

T2 1.850000 a1

Teste Tukey para a FV REPETI__O__

DMS: 1.28172445762947 NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 5

Erro padrão: 0.29573839791275

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
5	0.722000 a1	
4	1.734000 a1 a2	
3	1.782000 a1 a2	
1	1.852000 a1 a2	
2	2.006000 a2	

Variável analisada: MASSA_SECA

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	0.025224	0.006306	0.114	0.9756
REPETI__O__	4	0.241664	0.060416	1.095	0.3925
erro	16	0.882856	0.055179		
Total corrigido	24	1.149744			
CV (%) =	68.44				
Média geral:	0.3432000	Número de observações:	25		

 Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

DMS: 0.455288728404833 NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 5
 Erro padrão: 0.105050940024352

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
T3	0.296000 a1	
C2	0.314000 a1	
T1	0.366000 a1	
C1	0.368000 a1	
T2	0.372000 a1	

 Teste Tukey para a FV REPETI__O

DMS: 0.455288728404833 NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 5
 Erro padrão: 0.105050940024352

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
5	0.158000 a1	
3	0.350000 a1	
1	0.360000 a1	
2	0.406000 a1	
4	0.442000 a1	

Variável analisada: N_DE_FOLHA

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	4.560000	1.140000	1.152	0.3684
REPETI_O	4	1.760000	0.440000	0.444	0.7748
erro	16	15.840000	0.990000		
Total corrigido	24	22.160000			
CV (%) =	40.78				
Média geral:	2.4400000	Número de observações:	25		

Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

DMS: 1.92849958963047 NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 5
 Erro padrão: 0.44497190922574

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
C1	2.000000	a1
T3	2.200000	a1
C2	2.200000	a1

T1 2.600000 a1
T2 3.200000 a1

Teste Tukey para a FV REPETI__O

DMS: 1.92849958963047 NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 5
Erro padrão: 0.44497190922574

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
1	2.000000 a1	
5	2.400000 a1	
2	2.400000 a1	
3	2.600000 a1	
4	2.800000 a1	
