



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

IZABELLA LINS GALVÃO

**ANÁLISE FUNCIONAL DA BACTÉRIA TB3 ISOLADA DA RIZOSFERA DO
TAMBORIL (*Enterolobium contortisiliquum*) E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL
COMO BIOINSUMO AGRÍCOLA**

JOÃO PESSOA – PB

2026

IZABELLA LINS GALVÃO

**ANÁLISE FUNCIONAL DA BACTÉRIA TB3 ISOLADA DA RIZOSFERA DO
TAMBORIL (*Enterolobium contortisiliquum*) E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL
COMO BIOINSUMO AGRÍCOLA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação de Engenharia Química do Centro de
Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba em
cumprimento aos requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Profa. Dra. Sharline Florentino de Melo Santos

JOÃO PESSOA – PB

2026

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

G182a Galvao, Izabella Lins.

ANÁLISE FUNCIONAL DA BACTÉRIA TB3 ISOLADA DA
RIZOSFERA DO TAMBORIL (*Enterolobium contortisiliquum*) E
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL COMO BIOINSUMO AGRÍCOLA /
Izabella Lins Galvao. - João Pessoa, 2026.
85 f. : il.

Orientação: Sharline Florentino de Melo Santos.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Rizobactérias. 2. bioinoculantes. 3. melancia. I.
Santos, Sharline Florentino de Melo. II. Título.

UFPB/BSCT

CDU 664(043.2)

IZABELLA LINS GALVÃO

**ANÁLISE FUNCIONAL DA BACTÉRIA TB3 ISOLADA DA RIZOSFERA DO
TAMBORIL (*Enterolobium contortisiliquum*) E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL
COMO BIOINSUMO AGRÍCOLA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia
Química do campus I da
Universidade Federal da Paraíba
como requisito parcial para a
obtenção do grau de bacharel em
Engenharia Química.

Aprovado em: 09 / 03 / 2026

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **SHARLINE FLORENTINO DE MELO SANTOS**
Data: 18/03/2026 15:29:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dra. Sharline Florentino de Melo Santos

Orientadora – Departamento de Engenharia Química – UFPB

Documento assinado digitalmente
 **LAIS CAMPOS TEIXEIRA DE CARVALHO GONCAL'**
Data: 19/03/2026 08:12:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dra. Laís Campos Teixeira de Carvalho Gonçalves

Examinador(a) 1 – Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira – UFPB

Documento assinado digitalmente
 **RONALD HENRIQUE RODRIGUES DELFINO DA SI**
Data: 17/03/2026 14:23:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ms. Ronald Henrique Rodrigues Delfino da Silva

Examinador(a) 2 – Mestre em Engenharia Química

AGRADECIMENTOS

Ao meu cachorro, Chocolate, que desde que chegou em minha vida preencheu todos os vazios que meu coração possuía. Agradeço por me fazer amar e me trazer tanto conforto.

Ao meu padrinho, Oscar, por ter acreditado tanto no meu potencial, enquanto pôde, que eu jamais consegui dar atenção a quem não acreditava.

A minha avó, Graça, porque sei que suas orações e o seu amor me guiaram e me conduziram nesse processo.

Aos meus pais, Rubem e Elaine, porque eu vivo vocês e tudo sempre será por vocês.

Às minhas irmãs, Elis e Amanda, por me arrancarem da imersão em uma vida pacata e repetitiva e me ensinarem a viver e aproveitar a vida em sua plenitude, exatamente como ela é.

Ao meu namorado, Guilherme, por ser calma em meio as tempestades dessa jornada.

À minha dupla de curso, Isabela, por sua amizade e parceria desde o dia que nos cruzamos pela primeira vez.

À minha arquiteta favorita, Ana Camille, por nunca ter soltado a minha mão. Estarei sempre aqui por e para você.

Às minhas amigas, Brenda, Larissa, Débora, Thalita e Clarice, por me acolherem e me tornarem parte de algo tão especial. Sem vocês, essa caminhada não teria sido possível.

À minha orientadora, Sharline, pela oportunidade, e à equipe do Laboratório de Bioengenharia, por todo o apoio.

Aos meus primos, Luís, Gabriel e Eduardo, e à minha madrinha, Fábiana, pela paciência diante das minhas frequentes recusas aos convites por causa da faculdade, pelas caronas e pelos empréstimos de computador quando eu mais precisei. Poder contar com vocês foi essencial.

*“Assim como o aumento constante da entropia
é a lei fundamental do universo, lutar contra a
entropia é a lei fundamental da vida.”*

— Václav Havel

RESUMO

As rizobactérias são microrganismos que colonizam a rizosfera e conferem efeitos benéficos às plantas por diferentes mecanismos, como síntese de fitormônios, solubilização de minerais, fixação de nitrogênio e aumento da absorção de nutrientes. O uso de inoculantes microbianos tem ganhado destaque nas últimas décadas por fortalecer o componente biológico dos sistemas de produção, reduzir a dependência de fertilizantes sintéticos e contribuir para a sustentabilidade agrícola. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo confirmar se uma bactéria isolada da rizosfera de Tamboril apresenta características de microrganismo promotor de crescimento vegetal, além de avaliar seu crescimento em meio comercial e em meios alternativos formulados a partir de produtos e subprodutos da melancia. A bactéria TB3 foi caracterizada quanto à capacidade de solubilização de fosfatos, fixação biológica de nitrogênio e produção de ácido indol-3-acético (AIA). Posteriormente, foram avaliadas a cinética de crescimento microbiano em caldo nutriente e em meio alternativo à base de suco de melancia, bem como a influência do pH, da concentração de açúcares redutores totais e da temperatura sobre o crescimento celular e a produção de AIA. Também foram realizados cultivos com diferentes concentrações de suco de melancia e em meios formulados a partir da fração líquida e sólida das cascas da fruta. Os resultados indicaram que a TB3 apresenta características funcionais compatíveis com microrganismos promotores de crescimento vegetal, além de crescimento satisfatório em meios alternativos formulados com suco e casca de melancia. A utilização do resíduo de melancia mostrou-se viável para o cultivo bacteriano, evidenciando potencial para redução de custos e reaproveitamento de resíduos agroindustriais. Os ensaios com bioinoculantes demonstraram efeitos positivos no desenvolvimento inicial de plantas, especialmente quando a aplicação ocorreu após a germinação. Dessa forma, o estudo evidencia o potencial da bactéria TB3 para uso como bioinoculante agrícola associado a estratégias sustentáveis de valorização de resíduos vegetais.

Palavras-chave: Rizobactérias; bioinoculantes; melancia.

ABSTRACT

Rhizobacteria are microorganisms that colonize the rhizosphere and provide beneficial effects to plants through different mechanisms, such as phytohormone synthesis, mineral solubilization, nitrogen fixation, and enhanced nutrient uptake. The use of microbial inoculants has gained prominence in recent decades for strengthening the biological component of production systems, reducing dependence on synthetic fertilizers, and contributing to agricultural sustainability. In this context, the present study aimed to confirm whether a bacterium isolated from the rhizosphere of Tamboril exhibits characteristics of a plant growth-promoting microorganism, as well as to evaluate its growth in a commercial medium and in alternative media formulated from watermelon products and by-products. The TB3 bacterium was characterized regarding its capacity for phosphate solubilization, biological nitrogen fixation, and production of indole-3-acetic acid (IAA). Subsequently, microbial growth kinetics were evaluated in nutrient broth and in an alternative medium based on watermelon juice, as well as the influence of pH, total reducing sugar concentration, and temperature on cell growth and IAA production. Cultivations were also performed with different concentrations of watermelon juice and in media formulated from the liquid and solid fractions of the fruit peel. The results indicated that TB3 presents functional characteristics compatible with plant growth-promoting microorganisms, in addition to satisfactory growth in alternative media formulated with watermelon juice and peel. The use of watermelon residue proved to be viable for bacterial cultivation, demonstrating potential for cost reduction and reuse of agro-industrial residues. Bioinoculant assays showed positive effects on the initial development of plants, especially when the application occurred after germination. Therefore, this study highlights the potential of the TB3 bacterium for use as an agricultural bioinoculant associated with sustainable strategies for the valorization of plant residues.

Keywords: Rhizobacteria; bioinoculants; watermelon.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Biomas presentes na Paraíba.....	16
Figura 3.2 – Tamboril.....	18
Figura 3.3 – Rizosfera.....	19
Figura 3.4 – Ilustração do mecanismo de ação dos microrganismos promotores de crescimento vegetal.....	20
Figura 3.5 – Resumo do mecanismo de ação dos microrganismos promotores de crescimento vegetal.....	21
Figura 4.1 - Ensaio em algodão.....	36
Figura 4.2 - Visualização do vaso de 150 mL utilizado no ensaio.....	37
Figura 4.3 - Sementes utilizadas no cultivo em substrato comercial.....	38
Figura 4.4 - Ensaio com substrato comercial.....	38
Figura 5.1 - Repique dos microrganismos isolados do Tamboril.....	39
Figura 5.2 - Repique dos microrganismos isolados do Tamboril.....	39
Figura 5.3 - Solubilização de fosfatos da TB3.....	40
Figura 5.4 - Solubilização de fosfatos da TB3 com zoom.....	40
Figura 5.5 - Fixação de nitrogênio da TB3.....	41
Figura 5.6 - Aspecto visual dos meios.....	42
Figura 5.7 - Gráfico de crescimento da TB3 em meio comercial.....	43
Figura 5.8 - Gráfico de crescimento da TB3 em meio alternativo.....	44
Figura 5.9 - Contagem dos cultivos I à IV.....	46
Figura 5.10 - Contagem dos cultivos V à VIII.....	46
Figura 5.11 - Contagem dos cultivos IX à XI.....	47

Figura 5.12 - Crescimento no cultivo IX.....	47
Figura 5.13 - Gráfico de Pareto dos efeitos padronizados com $p=0,05$ para a variável AIA.....	48
Figura 5.14 - Estimadores dos efeitos para o AIA.....	48
Figura 5.15 - Coeficientes de regressão para o AIA.....	49
Figura 5.16 - Gráfico de superfície ajustada com base em dados experimentais.....	50
Figura 5.17 - Suco centrifugado X suco puro.....	50
Figura 5.18 - Gráfico de consumo de ART por tempo.....	51
Figura 5.19 - Gráfico de crescimento bacteriano por turbidimetria.....	52
Figura 5.20 - Gráfico de consumo de sólidos solúveis totais por tempo.....	52
Figura 5.21 - Contagem em placa de petri.....	53
Figura 5.22 - Aspecto visual dos meios à base de casca de melancia.....	54
Figura 5.23 - Variação dos sólidos solúveis totais com o tempo.....	55
Figura 5.24 - Variação dos açúcares redutores totais com o tempo.....	55
Figura 5.25 - Contagem em placa de petri para os meios (I) e (II).....	56
Figura 5.26 - Partículas não consumidas pela TB3.....	56
Figura 5.27 - Aspecto visual do meio (III).....	57
Figura 5.28 - Aspecto visual dos tratamentos utilizados.....	58
Figura 5.29 - Amostra 1 crescida em inoculante tipo (II).....	59
Figura 5.30 - Amostra que recebeu inoculante (S) por engano.....	61
Figura 5.31 - Formação foliar das plântulas de milho.....	68
Figura 5.32 - Emergência das plântulas de feijão.....	68
Figura 5.33 - Avaliação do crescimento das plântulas.....	69
Figura 5.34 - Manchas nas folhas.....	70
Figura 5.35 - Retração foliar da semente de feijão em tratamento (S).....	70

Figura 5.36 - Retração foliar dos cultivos com milho híbrido e crioulo.....	71
Figura 5.37 - Crescimento radicular.....	72
Figura 5.38 - Crescimento radicular.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Composição do Meio Gel.....	27
Tabela 4.2 - Composição do meio NFB.....	28
Tabela 4.3 - Composição da solução de micronutrientes.....	28
Tabela 4.4 - Composição da solução de vitaminas.....	28
Tabela 4.5 – Matriz experimental.....	32
Tabela 4.6 - Volumes de irrigação.....	36
Tabela 5.1 - Valores de produção de ácido indol-3-acético pela TB3.....	41
Tabela 5.2 - Condições experimentais, AIA e concentração.....	45
Tabela 5.3 - Variação do pH por tempo.....	54
Tabela 5.4 - Variação de biomassa por tempo.....	57
Tabela 5.5 - Sementes germinadas por dia.....	58
Tabela 5.6 - Sementes germinadas no controle por dia.....	59
Tabela 5.7 - Crescimento do milho híbrido com o bioinoculante (II).....	60
Tabela 5.8 - Crescimento do milho híbrido com o bioinoculante (S).....	60
Tabela 5.9 - Crescimento do milho híbrido com o controle (C).....	61
Tabela 5.10 - Crescimento do milho crioulo com o bioinoculante (I).....	61
Tabela 5.11 - Crescimento do milho crioulo com o bioinoculante (II).....	62
Tabela 5.12 - Crescimento do milho crioulo com o bioinoculante (S).....	62
Tabela 5.13 - Crescimento do milho crioulo com o controle (C).....	62
Tabela 5.14 - Volumes de irrigação.....	63
Tabela 5.15 - Germinação por dia.....	64
Tabela 5.16 - Altura das plântulas de milho híbrido no tratamento (S).....	65

Tabela 5.17 - Altura das plântulas de milho híbrido no controle (C).....	65
Tabela 5.18 - Altura das plântulas de milho crioulo no tratamento (S).....	65
Tabela 5.19 - Altura das plântulas de milho crioulo no controle (C).....	66
Tabela 5.20 - Altura das plântulas de feijão no tratamento (S).....	66
Tabela 5.21 - Altura das plântulas de feijão no controle (C).....	67

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. OBJETIVO GERAL.....	15
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3.1. CAATINGA.....	16
3.2. TAMBORIL.....	17
3.3. RIZOSFERA.....	18
3.4. MICRORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO VEGETAL.....	20
3.5. MEIOS DE CULTIVO ALTERNATIVO E RESÍDUOS VEGETAIS.....	22
3.6. SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA E BIOFERTILIZANTES.....	23
4. METODOLOGIA.....	26
4.1. REPIQUE E MANUTENÇÃO DE MICRORGANISMOS.....	26
4.2. CARACTERIZAÇÃO FUNCIONAL DA BACTÉRIA TB3.....	26
4.2.1. Análise de solubilização de fosfatos.....	26
4.2.2. Análise de fixação de nitrogênio.....	27
4.2.3. Análise de produção de AIA.....	28
4.3. FORMULAÇÃO DE MEIO ALTERNATIVO COM SUCO DE MELANCIA E AVALIAÇÃO CINÉTICA DE CRESCIMENTO MICROBIANO.....	29
4.3.1. Caracterização da melancia.....	29
4.3.2. Meio de cultura sintético X alternativo.....	30
4.3.3. Avaliação cinética.....	30
4.4. AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE ART, PH E TEMPERATURA NO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE AIA PELA TB3.....	31
4.5. CRESCIMENTO BACTERIANO COM VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE AÇÚCARES NO SUCO.....	33
4.6. AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO BACTERIANO EM MEIOS À BASE DE CASCA DE MELANCIA.....	34
4.7. PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DOS BIOINOCULANTES.....	35
4.8. AVALIAÇÃO DO BIOINOCULANTE EM VASOS COM SUBSTRATO COMERCIAL.....	37

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
5.1. REPIQUE E MANUTENÇÃO DE MICRORGANISMOS.....	39
5.2. CARACTERIZAÇÃO FUNCIONAL DA BACTÉRIA TB3.....	40
5.2.1. Análise de solubilização de fosfato.....	40
5.2.2. Análise de fixação de nitrogênio.....	40
5.2.3. Análise de produção de ácido indol-3-acético (AIA).....	41
5.3. FORMULAÇÃO DE MEIO ALTERNATIVO COM SUCO DE MELANCIA E AVALIAÇÃO DA CINÉTICA DE CRESCIMENTO MICROBIANO.....	41
5.3.1. Caracterização da melancia.....	41
5.3.2. Meio de cultura sintético X alternativo.....	42
5.3.3. Avaliação cinética.....	42
5.4. AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE ART, PH E TEMPERATURA NO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE AIA PELA TB3.....	44
5.5. CRESCIMENTO BACTERIANO EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE AÇÚCARES NO SUCO.....	50
5.6. AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO BACTERIANO EM MEIOS À BASE DE CASCA DE MELANCIA.....	53
5.7. PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DOS BIOINOCULANTES.....	58
5.8. AVALIAÇÃO DO BIOINOCULANTE EM VASOS COM SUBSTRATO COMERCIAL.....	63
6. CONCLUSÃO.....	75
REFERÊNCIAS.....	76

1. INTRODUÇÃO

As rizobactérias são um grupo de microrganismos que colonizam a rizosfera, e estas conferem efeitos benéficos às plantas por uma variedade de mecanismos, incluindo síntese de fitormônios, solubilização de minerais, produção de sideróforos, aumento na absorção de nutrientes, área foliar etc. Além disso, esses microrganismos também produzem enzimas antioxidantes a fim de proteger as plantas contra estresses ambientais (FLORES-GALLEGOS; NAVA-REYNA, 2019).

O uso de inoculantes microbianos ganhou destaque nas últimas três décadas. Essa tecnologia fortalece o componente biológico dos sistemas de produção, contribuindo para a saúde do solo ao reduzir o uso de fertilizantes sintéticos, por meio de introdução de microrganismos benéficos. Esses estimulam o crescimento vegetal em diferentes fases, promovendo a absorção de nutrientes essenciais como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) (OLIVEIRA-PAIVA, 2024).

Assim, os bioinsumos abrangem uma ampla variedade de produtos, como biofertilizantes, bioestimulantes, promotores de crescimento vegetal, ingredientes nutricionais, substâncias bioativas, extratos vegetais e agentes biológicos de controle de pragas. Ademais, na agricultura, seu uso tem se expandido significativamente, possibilitando o aumento da produtividade por meio do manejo integrado de doenças e da melhoria da resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos (PEREIRA, 2025).

De acordo com Pavinato et al. (2021), os microrganismos solubilizadores de fosfato podem associar-se às raízes das plantas e disponibilizar formas menos lábeis de fósforo presentes no solo, contribuindo para a redução da necessidade de fertilizantes minerais.

A melancia (*Citrullus lanatus*), pertencente à família Cucurbitaceae, é uma planta anual caracterizada por suas folhas amplas e frutos doces e suculentos, que podem atingir até 90 kg. Além de seu valor alimentar, a melancia representa uma cultura de destaque para os produtores rurais, devido ao manejo simples e ao baixo custo de produção em relação a outras hortaliças-fruto. Trata-se de uma espécie relevante no cenário agrícola brasileiro, principalmente por demandar intensa utilização de mão de obra no campo, o que, sob o aspecto socioeconômico, contribui para a geração de renda, oferta de empregos e fixação do trabalhador rural (Mandizvo et al., 2021).

Destarte, o presente trabalho fez análises para confirmar se uma bactéria isolada da rizosfera de Tamboril apresentou características de microrganismo promotor de crescimento vegetal e avaliou-se o crescimento da mesma em meio comercial e em meios alternativos produzidos a partir dos produtos e subprodutos da melancia.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar o potencial da bactéria TB3, isolada da rizosfera de *Enterolobium contortisiliquum* (Tamboril), como microrganismo promotor de crescimento vegetal, examinar seu crescimento em meio comercial e em meios alternativos formulados a partir da melancia, além de avaliar a utilização do meio inoculado com TB3 como bioinsumo.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

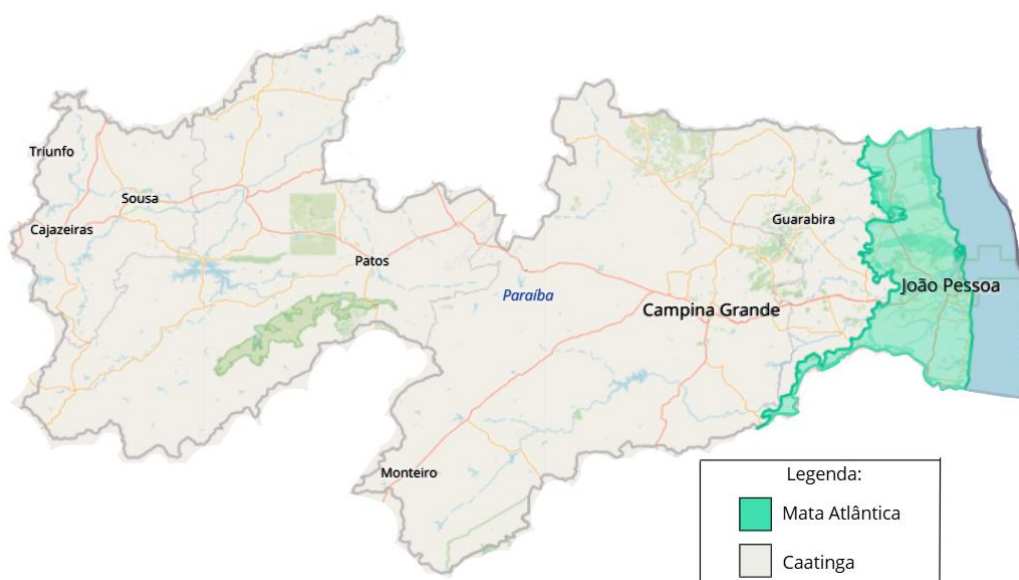
- Realizar repique de manutenção em todos isolados da rizosfera do Tamboril;
- Realizar a caracterização funcional da TB3 como microrganismo promotor de crescimento vegetal a partir de análises de ácido indol-3-acético, solubilização de fosfatos e fixação de nitrogênio;
- Caracterizar o suco de melancia quanto ao pH, sólidos solúveis totais e açúcares redutores;
- Comparar a cinética de crescimento da bactéria TB3 em meio comercial e em meio alternativo formulado com suco de melancia;
- Avaliar a influência do pH, da temperatura e da concentração de açúcares redutores totais no crescimento celular e na produção de AIA;
- Investigar o crescimento da bactéria TB3 em meios formulados a partir da fração líquida e sólida da casca de melancia;
- Analisar o potencial do aproveitamento de resíduos de melancia como substrato alternativo para o cultivo de microrganismos promotores de crescimento vegetal;
- Analisar a viabilidade da utilização dos meios alternativos formulados a partir de resíduos de melancia, inoculados com a bactéria TB3, como bioinsumo para cultivos de milho e feijão.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. CAATINGA

O nome “Caatinga”, de origem indígena, significa “mata branca” (caa = mata; tinga = branca, clara, aberta). Este bioma, exclusivo do Brasil, ocupa cerca de 844 a 969 mil km², abrangendo partes de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Piauí, Sergipe e o norte de Minas Gerais (MMA, 2019). Apesar de abrigar grande parte do patrimônio biológico exclusivo do país, 40% da Caatinga já está degradada, 42% preservada e 8% do solo exposto é vulnerável à desertificação, evidenciando o impacto do desmatamento (DEMARTELAERE, 2022).

Figura 3.1 – Biomas presentes na Paraíba



Fonte: Projeto MapBiomas Alerta, 2026 (Adaptado)

Na Caatinga, as interações entre plantas e animais incluem relações mutualísticas, como polinização, dispersão de sementes e proteção mútua entre formigas e plantas, além de interações antagônicas, como a herbivoria. O ambiente do bioma é definido por uma combinação de fatores climáticos, geomorfológicos, hidrológicos, pedológicos e botânicos. Por ser uma das vegetações mais sensíveis às mudanças climáticas, cerca de 94% da Caatinga apresenta risco moderado a alto de desertificação (MELO, 2023).

As espécies presentes na Caatinga formam a biota regional. Compreender como essa biota se formou e se mantém ao longo do tempo é relevante para a ciência e para aplicações práticas, como a definição de áreas prioritárias para conservação (ARAUJO, 2022).

A Caatinga é um dos ecossistemas mais modificados pelo homem no Brasil, ficando atrás apenas da Mata Atlântica e do Cerrado. Abriga cerca de 1.000 espécies vegetais, das quais 318 são endêmicas, e é considerada a área semiárida mais rica em biodiversidade do mundo. Localizada na região semiárida mais populosa do planeta, cerca de 28 milhões de pessoas dependem direta ou indiretamente de seus recursos naturais. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA), o bioma possui aproximadamente 932 variedades de plantas (DEMARTELAERE, 2022).

A acentuada sazonalidade da Caatinga influencia o balanço anual de carbono ao estimular o crescimento das plantas e afetar a produtividade do ecossistema. No bioma, fatores como altura da cobertura vegetal, densidade da vegetação, abundância ou escassez de espécies e predominância de árvores ou arbustos, que determinam diretamente a estrutura da vegetação, não dependem apenas da disponibilidade de água, mas resultam da interação entre o tipo de solo e as condições hídricas (MENDES, 2025).

3.2. TAMBORIL

Enterolobium contortisiliquum (Vell.) Morong (Fabaceae) conhecida, entre outros nomes, como “tamboril”, é uma planta que possui ampla distribuição geográfica no Brasil, sendo facilmente encontrada na Mata Atlântica, Caatinga, Cerrado (BEZERRA et al., 2021) e em outros países latino-americanos (LORENZI, 2020).

Trata-se de uma árvore de natureza fibrosa, característica que lhe confere potencial para atuar como material adsorvente. É uma espécie de origem brasileira, com ocorrência registrada desde os estados do Pará, Maranhão e Piauí até o Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul, abrangendo tanto florestas pluviais quanto semidecíduas (SILVA¹, 2024).

Apesar da importância faunística, humana e ambiental, a espécie *Enterolobium contortisiliquum* ainda possui escassas informações na literatura, de

acordo com estudos realizados por SILVIA² (2024) sabe-se que os frutos dessa espécie têm grande variação nas dimensões, enquanto as sementes evidenciam menor variação.

As sementes do Tamboril são notavelmente tóxicas quando ingeridas e podem causar envenenamento grave em animais. Essa toxicidade está associada à presença de saponinas, lectinas e enterolobina (BARROS, 2023).

O Tamboril é encontrado nos biomas Mata Atlântica e Caatinga no Brasil e apresenta elevada capacidade de brotação. Essa característica, aliada à sua tolerância a variações climáticas e a solos com baixa fertilidade, torna-a uma espécie ideal para projetos de restauração de áreas degradadas pela mineração (ADEMILSON, 2021).

A família Leguminosae é a terceira maior entre as Angiospermas, destacando-se por sua importância econômica, ecológica e pela ampla diversidade de espécies. Nessa família está incluída a *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. Embora apresente partes tóxicas, a exploração de novos extratos naturais dessa espécie pode oferecer diversos benefícios para a humanidade. (JESUS, 2024)

Figura 3.2 - Tamboril



Fonte: BRASIL ECOLÓGICA (@brasilecologica), 2025

3.3. RIZOSFERA

O solo atua como um reservatório que abriga inúmeras formas de vida, o mesmo é essencial para a preservação e o desenvolvimento de ecossistemas terrestres. A rizosfera é a região com maior concentração microbiana, ela é

localizada ao redor das raízes ou na interface entre as raízes das plantas e os microrganismos do solo (GOMMIDES, 2023).

A rizosfera corresponde à região do solo diretamente aderida e influenciada pelas raízes das plantas, apresentando características físicas, químicas e biológicas específicas. Essa região constitui um ambiente ecológico dinâmico, no qual ocorrem intensas interações entre o solo, as plantas e os microrganismos, favorecendo a troca de nutrientes, água e diferentes organismos (SCIENCEDIRECT, 2026).

Figura 3.3 – Rizosfera



Fonte: GOMES, 2026

O microbioma rizosférico pode induzir respostas de defesa nas plantas, atuando como uma barreira inicial contra a infecção por patógenos do solo, essa proteção é essencial para manutenção da saúde vegetal e para a redução da dependência de defensivos químicos (RAIMAM, 2023). Na zona rizosférica ocorre liberação de compostos químicos que influenciam diretamente no crescimento e desenvolvimento das plantas (GOMMIDES, 2023). A região rizosférica fornece um abrigo para a troca de componentes bioquímicos que estabelecem relações interespecíes entre as raízes e os microrganismos (UPADHYAY et al., 2022).

De modo geral, a composição do solo apresenta elevadas concentrações de óxidos de ferro e alumínio. Esses compostos, quando associados a valores de pH ácido, reduzem a disponibilidade de ânions como fosfatos e sulfatos. Da mesma forma, os cátions também têm sua disponibilidade comprometida nessas condições (RAIMAM, 2023). A absorção de nutrientes, portanto, ocorre a partir dos elementos disponíveis na solução do solo, que entram em contato com as raízes por meio dos processos de difusão, fluxo de massa e interceptação radicular, o que reforça a importância de mecanismos que favoreçam o transporte eficiente desses nutrientes até o sistema radicular (HERMANN-BANDERA, 2022).

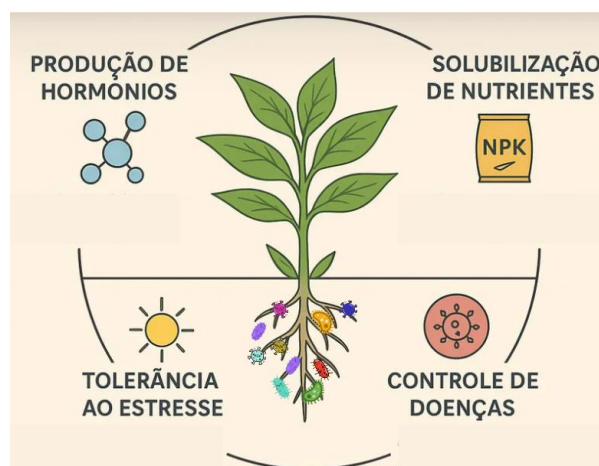
As raízes das plantas absorvem íons de forma seletiva e liberam compostos que modificam o pH do solo, influenciando a disponibilidade de nutrientes e a atividade microbiana. A quantidade de carbono liberada para a rizosfera é semelhante ou superior à utilizada na respiração radicular. As plantas mantêm uma relação estreita com os microrganismos do solo, considerado o maior reservatório de biodiversidade do planeta. Essa biodiversidade se concentra na rizosfera, dividida em três zonas: a endorizosfera (interior da raiz), o rizoplane (superfície da raiz) e a ectorizosfera (região externa próxima à raiz) (SILVA, 2022).

3.4. MICRORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO VEGETAL

No interior dos solos estão presentes microrganismos que se distinguem em níveis taxonômicos, genéticos e fenotípicos (GOMMIDES, 2023). A variedade de microrganismos presentes no solo constitui um indicador sensível à poluição e a degradação ambiental, isto é a maioria das transformações químicas que ocorrem nesse meio são reflexo da atividade microbiana (PARRALES, 2022).

As relações interespecíficas estabelecidas entre plantas e microrganismos podem ter efeitos negativos, neutros ou positivos. Destaca-se como efeito benéfico as associações simbióticas com microrganismos diazotróficos e fungos micorrízicos diante da capacidade de alteração da composição dos exsudatos radiculares, modificando o ambiente químico e biológico ao redor das raízes (RAIMAM, 2023).

Figura 3.4 – Ilustração do mecanismo de ação dos microrganismos promotores de crescimento vegetal



Fonte: BUENO, 2025 (Adaptado)

A abundância e a diversidade de microrganismos presentes na rizosfera, quando comparadas às do solo não rizosférico, indicam que fatores como a concentração de CO₂, o teor de carbono orgânico, o nitrogênio total e o potássio disponível exercem grande influência sobre a estrutura das comunidades bacterianas e fúngicas (RAIMAM, 2023). Os microrganismos que habitam o solo obtêm energia e nutrientes a partir dos exsudatos liberados pelas raízes e da matéria orgânica disponível. Ademais, para que esses microrganismos mantenham-se vivos é necessário o funcionamento ativos dessas raízes. Os microrganismos promotores de crescimento de plantas estão localizados na rizosfera e desempenham papéis fundamentais como estimular o crescimento radicular, fixar nitrogênio atmosférico, solubilizar fosfatos e produzir ácidos orgânicos (PARRALES, 2022).

Figura 3.5 – Resumo do mecanismo de ação dos microrganismos promotores de crescimento vegetal

BIOESTIMULANTE	BIOFERTILIZANTE	BIOCONTROLE
Estimula a produção de hormônios e outros nutrientes	Auxilia a disponibilização de nutrientes e outros compostos	Produce antioxidantes, osmorreguladores e biofilme.
Aumenta a produção de Auxina, citocinina, giberelina, ACC deaminase, Ácido abscísico, jasmonatos, brassinosteróides e estríglolactonas	N, P, Fe, K E S	Aumenta da Resistência Induzida (IRS) e Resistência Adquirida (SAR)
Reduz o etileno	Fixação de N Solubilização de P Produção de Sideróforos VOC, ácidos e quelantes	Aumento da tolerância ao estresse
		Reduz o ataque de doenças e pragas

Fonte: Silva, 2022

As bactérias conhecidas como diazotróficas são capazes de realizar fixação biológica de oxigênio, contribuindo também na síntese de compostos que estimulam o crescimento radicular, como o ácido indol-acético (BASTOS, 2023).

Em síntese, os microrganismos fixadores de nitrogênio sendo eles de vida livre ou associados a espécies vegetais, auxiliam na fixação de nitrogênio na qual o nitrogênio atmosférico é transformado em amônia, contribuindo para o crescimento e

desenvolvimento de plantas e podendo afetar direta ou indiretamente a produtividade das culturas (BOURSCHEIDT et al., 2019).

Outra característica desejável para microrganismos promotores de crescimento vegetal é a capacidade de solubilizar fosfatos. Essa solubilização pode ocorrer por diferentes mecanismos, sendo a produção de ácidos orgânicos um dos principais processos para tornar o fósforo disponível para as plantas (ALMEIDA, 2025).

O fósforo se destaca por compor importantes biomoléculas, como ácidos nucleicos, coenzimas, fosfolipídeos e proteínas. No entanto, ele encontra-se frequentemente indisponível às plantas, tornando indispensável a atuação de microrganismos solubilizadores. (ALMEIDA, 2025)

3.5. MEIOS DE CULTIVO ALTERNATIVO E RESÍDUO DE MELANCIA

Os meios de cultivo sintético contêm macronutrientes, como carbono, oxigênio, hidrogênio, fósforo, cálcio, nitrogênio, silicato, enxofre e potássio, e micronutrientes, como ferro, cobre, molibdênio, zinco e manganês. Os macronutrientes são essenciais, pois constituem as biomoléculas, membranas e o meio intracelular, enquanto os micronutrientes atuam nas atividades metabólicas das enzimas presentes nas organelas celulares (MORAES, 2023).

A incorporação de materiais orgânicos na formulação de substratos não apenas melhora a fertilidade do solo, como também diminui a necessidade de fertilizantes minerais convencionais, contribuindo para a redução dos custos de produção. Dessa forma, a utilização parcial ou total de componentes orgânicos nos substratos pode assegurar condições adequadas para o desenvolvimento das plantas (BASTOS, 2023).

A caracterização de meios de cultivo formados por resíduos diversos se mostra uma solução eficaz para diminuir os custos de produção, diante do investimento monetário em insumos sintéticos ser um grande impasse do cultivo de microrganismos, a utilização de resíduos na formulação de meios de cultura é mínima, promovendo rentabilidade a produção desses microrganismos (VARANDAS, 2022).

Existe uma pressão crescente para diminuir os subprodutos gerados por processos industriais, promovendo sua reutilização em processos secundários (CHIMINI, 2021). As características desejadas para um substrato incluem baixo custo, fácil aquisição, conteúdo nutricional adequado, pH apropriado, boa capacidade de troca de cátions e ausência de patógenos. No entanto, raramente um substrato atende a todos esses critérios, o que reforça a importância de avaliar sua viabilidade antes do uso (VIEIRA, 2022).

A nível global, estima-se que, entre 2017 e 2018, cerca de 42 milhões de toneladas de subprodutos de melancia, como cascas e sementes, foram gerados por indústrias de processamento de suco, produtores artesanais e restaurantes, durante o preparo e consumo da fruta (ZIA et al., 2021).

Diversos resíduos agrícolas e florestais podem ser utilizados na produção de substratos para hortaliças, mostrando-se eficientes na obtenção de mudas de qualidade e apresentando excelentes resultados na produção orgânica (LIMA, 2021).

Na busca por alternativas renováveis para materiais sustentáveis, a reutilização e valorização de resíduos é essencial para reduzir o impacto negativo da atividade industrial dentro de uma economia circular. (Ricarte Rostirolla, 2023)

As cascas de melancia correspondem a aproximadamente 30% a 41% do peso total da fruta, e, como resíduo agrícola de alta emissão, representam uma preocupação ambiental significativa. Isso torna essencial compreender o potencial sustentável da casca, tanto do ponto de vista ecológico quanto econômico (LANG et al., 2023; GUO et al., 2021).

3.6. SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA E BIOFERTILIZANTES

Desde os primórdios da agricultura, os humanos têm utilizados várias formas de substâncias biogênicas e inorgânicas para nutrir e proteger suas plantações e aumentar o rendimento das mesmas. Os insumos biológicos são obtidos a partir de organismos vivos por técnicas de biotecnologia, como as plantas, animais, microrganismos e são utilizados para diversas finalidades (CHUI et al., 2023).

A melancia é uma fruta cujo percentual comestível (polpa) é menor do que o da maioria das frutas, com mais da metade do seu peso constituído por casca e sementes, resultando em altos índices de desperdício. O aproveitamento dessas

partes contribui para uma melhor utilização do fruto e ajuda a reduzir o desperdício (DE SOUZA SILVA, 2024).

Nas últimas décadas, as atividades agrícolas têm crescido substancialmente. A geração global de resíduos agrícolas aumentou de cerca de 998 milhões de toneladas por ano para dezenas de bilhões de toneladas anuais estimadas nos últimos 50 anos (AWOGBEMI; KALLON, 2022; DUQUE-ACEVEDO et al., 2020).

Uma abordagem econômica, ecológica e sustentável para o manejo de resíduos agrícolas é transformá-los em produtos úteis. Estudos relevantes demonstram o grande potencial das cascas de melancia para diversas aplicações, incluindo tratamento de águas residuais, produção de biocombustíveis e bioplásticos, desenvolvimento de alimentos funcionais e uso nas indústrias cosmética e farmacêutica (DINIS, 2025).

Dentre as alternativas sustentáveis, destacam-se as bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), apresentando uma das tecnologias mais promissoras para alcançar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Elas proporcionam benefícios como o estímulo do crescimento da parte aérea e das raízes das plantas e o fortalecimento da proteção enzimática contra estresses bióticos e abióticos (PORTO et al., 2022).

O consumo de fertilizantes minerais tem crescido globalmente, impactando os preços dos alimentos. No Brasil, o uso excessivo de fertilizantes solúveis representa um problema, pois, sem a adoção de modelos agrícolas mais sustentáveis, reservas de rochas fosfatadas, por exemplo, podem se esgotar em menos de 100 anos (COSTA, 2021).

Na agricultura orgânica, o uso de biofertilizantes é uma prática comum devido ao seu baixo custo e à possibilidade de produção diretamente na propriedade. Esses fertilizantes podem fornecer praticamente todos os nutrientes necessários às plantas, sendo sua composição influenciada pelo tipo de fermentação a que são submetidos (COSTA, 2021).

No Brasil, o uso de inoculantes microbianos, como biofertilizantes, tem melhorado significativamente a produção de alimentos, tecnologia que já vem sendo compartilhada com países africanos. Além da agricultura, essas bactérias também são aplicadas na recuperação de solos contaminados, reflorestamento e proteção de

recursos hídricos, destacando a importância de conservar a diversidade microbiana dos solos tropicais para as futuras gerações (GAYLARDE, 2025).

4. METODOLOGIA

4.1. REPIQUE E MANUTENÇÃO DE MICRORGANISMOS

Ressalta-se que todos os microrganismos citados no presente trabalho foram isolados de uma amostra do solo do Tamboril, essa coletada em 10 de janeiro de 2022, no município de Bananeiras-PB, (6° 44 '03.8 ``S 35° 40' 27.1 ``W), às 9 horas da manhã.

Os microrganismos utilizados neste estudo foram isolados de acordo com a metodologia proposta por KHAN (2017). O isolamento foi realizado por alunos em pesquisas acadêmicas desenvolvidas no ano de 2022, vinculadas ao Laboratório de Bioengenharia da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

Foram realizadas análises preliminares em pesquisas de iniciação científica desenvolvidas no ano de 2022 no Laboratório de Bioengenharia da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), com o objetivo de avaliar a produção de ácido indol-3-acético (AIA) e a capacidade de fixação de nitrogênio pelos isolados bacterianos. Essas análises permitiram selecionar a bactéria com melhor desempenho para as etapas subsequentes do estudo. Entre os isolados avaliados, a cepa TB3 apresentou os melhores resultados, sendo, portanto, selecionada para o presente trabalho.

Por se tratar de uma atividade em continuidade, a cada 60 dias, foram realizados os repiques de manutenção de todos os microrganismos, esses ainda não identificados. Todos eles passaram por repique nos meios onde foram isolados inicialmente: ágar nutriente e ágar batata dextrose.

4.2. CARACTERIZAÇÃO FUNCIONAL DA BACTÉRIA TB3

4.2.1. Análise de solubilização de fosfatos

A bactéria TB3, pertencente a coleção de microrganismos isolados da rizosfera do Tamboril, foi selecionada para análise de solubilização de fosfatos, em que foram realizados dois cultivos, variando a composição entre 2,5% e 5% de fosfato através do Meio Gel (SYLVESTER-BRADLE et al., 1982). É tido como resultado positivo o crescimento do microrganismo com formação de halo translúcido ao redor da colônia.

Para o preparo do meio de teste seguiu-se as composições contidas na Tabela 4. Ademais, antes da distribuição do meio em placas de petri as soluções de fosfato de sódio bibásico e cloreto de cálcio foram acrescidas ao meio, ocasionando a mudança visual da coloração do mesmo, de translúcido para esbranquiçado e opaco.

O microrganismo foi inoculado e permaneceu em estufa a 30°C durante 15 dias.

Tabela 4.1 - Composição do Meio Gel

COMPONENTE	PROPORÇÃO (5% DE FOSFATOS)	PROPORÇÃO (2,5% DE FOSFATOS)
Ágar	15 g/L	15 g/L
Cloreto de cálcio (Solução 10%)	100 mL/L	50 mL/L
Extrato de levedura	0,5 g/L	0,5 g/L
Fosfato de sódio bibásico (Solução 10%)	50 mL/L	25 mL/L
Glicose	10 g/L	10 g/L

FONTE: SYLVESTER-BRADLE et al., 1982

4.2.2. Análise de fixação de nitrogênio

Para avaliar a capacidade de fixar nitrogênio, utilizou-se o meio NFB (Döbereiner et al., 1995) para crescimento do microrganismo por um período de 14 dias, esses divididos entre 7 dias para inoculação (R1) e 7 para repique de confirmação (R2). Em caso positivo de fixação, a bactéria deve apresentar crescimento, mesmo que sutil, na placa contendo o repique de confirmação (R2).

O meio NFB foi preparado a partir das composições apresentadas nas Tabelas 4.2, 4.3 e 4.4. Além disso, o mesmo foi devidamente autoclavado a 121°C por 15 minutos. O microrganismo foi incubado em estufa a 30°C nos dois períodos. Para a análise foram utilizados 20 mL de meio NFB por placa de petri.

Tabela 4.2 - Composição do meio NFB

COMPONENTE	PROPORÇÃO
Ácido Málico	5 g/L
Ágar	20 g/L
Azul de bromotimol, 0,5% em 0,2 M de KOH	2 mL/L
Cloreto de cálcio dihidratado, 1% P/V	2 mL/L
Cloreto de sódio, 10% P/V	1 mL/L
EDTA de ferro, 1,64% P/V	4 mL/L
Fosfato de sódio dibásico, 10% P/V	5 mL/L
Hidróxido de potássio, 10% P/V	4,5 g/L
Solução de micronutrientes para meio de cultura	1 mL/L
Solução de vitaminas para meio de cultura	1 mL/L
Sulfato de magnésio hepta-hidratado, 10% P/V	2 mL/L

Fonte: Döbereiner et al., 1995 (Adaptado)

Tabela 4.3 - Composição da solução de micronutrientes

COMPONENTE	PROPORÇÃO (para 200 mL)
Ácido bórico	0,28 g
Molibdato de sódio	0,2 g
Sulfato de cobre	0,008 g
Sulfato de manganês	0,235 g
Sulfato de zinco	0,024 g

Fonte: Protocolo da EMBRAPA, 1999

Tabela 4.4 - Composição da solução de vitaminas

COMPONENTE	PROPORÇÃO (para 100 mL)
Biotina	10 mg
Piridoxina	20 mg

Fonte: Protocolo da EMBRAPA, 1999

4.2.3. Análise de produção de AIA

Com o objetivo de avaliar a capacidade de produção de AIA pela bactéria TB3, foram preparadas duas culturas: uma composta por 70 mL de meio caldo

nutriente e outra por 70 mL do mesmo meio suplementado com 2,1 mg de triptofano. Ambos foram devidamente esterilizados em autoclave a 121 °C por 15 minutos.

Após esterilização, inoculou-se uma alçada do microrganismo em cada cultivo, que permaneceu em incubadora do tipo shaker durante período de incubação de oito dias, com condições de 30 °C e 180 rpm. Posteriormente, alíquotas de 2 mL foram coletadas e submetidas à centrifugação, em seguida 1,2 mL do sobrenadante foi misturado a 0,8 mL do reagente de Salkowski para análise em espectrofotômetro, a 540 nm. Todo o procedimento experimental foi conduzido em duplicata.

A conversão de absorbância em concentração de AIA foi realizada conforme a equação 1.

$$AIA(\mu g/mL) = 92,576 \times Absorbancia \quad (eq.1)$$

4.3. FORMULAÇÃO DE MEIO ALTERNATIVO COM SUCO DE MELANCIA E AVALIAÇÃO DA CINÉTICA DE CRESCIMENTO MICROBIANO

4.3.1. Caracterização da melancia

Neste trabalho, o suco de melancia foi obtido a partir do fruto por meio do uso de um liquidificador doméstico, seguido de peneiramento para a remoção das sementes. O mesmo foi acondicionado em garrafas plásticas e devidamente refrigerado até o momento de sua utilização. O suco foi caracterizado por meio de análises de pH, açúcares redutores totais, açúcares redutores e sólidos solúveis totais.

O pH foi determinado utilizando um pHmetro de bancada, enquanto os sólidos solúveis totais foram avaliados em refratômetro de bancada.

Com o objetivo de quantificar a concentração de açúcares redutores totais, foi empregado o método do DNS (INSTITUTO ADOLFO LUTZ. 2008). Para isso, no início e ao final de cada cultivo, foram coletados 1 mL de amostra e adicionados 1 mL de ácido clorídrico 2N. Em seguida, as amostras foram aquecidas em banho-maria por 5 minutos a 100 °C e posteriormente resfriadas em banho de gelo. Após o resfriamento, foram adicionados 2 mL de hidróxido de sódio 2N.

Da amostra final, retiraram-se 0,5 mL, os quais foram adicionados a 0,5 mL do reagente DNS e, novamente, submetidos ao aquecimento em banho-maria por 5 minutos, seguido de resfriamento. Por fim, foram adicionados 4 mL de água

destilada, e a amostra foi submetida à leitura de absorvância a 540 nm. O branco foi determinado utilizando água destilada em substituição à amostra do meio, e a curva empregada para a conversão da absorvância em concentração é apresentada na Equação 1. Ademais, para a determinação dos açúcares redutores, a metodologia adotada é a mesma, entretanto, iniciando-se na etapa em que se misturam 0,5 mL de amostra, neste caso a 0,1 °Brix, com 0,5 mL de reagente DNS.

$$y(\text{mg / mL}) = (1,4826 \times \text{Absorvância} + 0,0116) \times \text{diluição} \quad (\text{eq. 2})$$

4.3.2. Meio de cultura sintético X alternativo

Preparou-se 500 mL de meio líquido comercial caldo nutriente, exclusivamente para fins comparativos, de modo a servir como meio sintético de referência para a avaliação do crescimento da bactéria TB3 em relação ao meio alternativo. O preparo foi realizado conforme as especificações do fabricante. Em seguida, foram retiradas duas alíquotas de 200 mL do meio previamente preparado e transferidas para frascos de erlenmeyer de 500 mL.

O meio alternativo empregado foi preparado adicionando-se a um frasco de erlenmeyer 76 mL de suco de melancia puro, 424 mL de água destilada e 0,5 g de extrato de levedura, com o pH do meio ajustado para 7 por meio da adição de hidróxido de sódio a 10%. A autoclavagem ocorreu a 100 °C durante 5 minutos para não prejudicar os açúcares presentes na composição.

Para a inoculação de ambos, foram retiradas três alçadas de uma cultura crescida da bactéria e as mesmas foram inseridas nos frascos. Os cultivos foram mantidos em incubadora shaker com temperatura controlada a 30 °C por 26 horas, sob agitação de 180 rpm.

4.3.3. Avaliação cinética

A cada duas horas, amostras foram coletadas para a determinação da absorvância, pH e sólidos solúveis totais (°Brix), com o objetivo de acompanhar o crescimento da TB3 nos meios.

Para a leitura dos sólidos solúveis totais (°Brix), utilizou-se um refratômetro digital de bancada ABBE. As amostras foram previamente centrifugadas a 10.000 rpm por 5 minutos, sendo analisado apenas o sobrenadante.

A turbidimetria das culturas foi determinada em espectrofotômetro a 600 nm (STEVENSON, 2016), o ponto de referência foi determinado com água destilada.

Para a determinação do peso seco (LI, 2010), aguardou-se que as culturas atingissem 26 horas de cultivo. Em seguida, para cada meio, cinco microtubos de 2 mL foram identificados, secos em estufa por 4 horas a 80 °C, resfriados em dessecador por 40 minutos até atingirem massa constante e, então, pesados em balança analítica. Após esse procedimento, foram adicionados 2 mL do cultivo em cada microtubo, e as amostras foram centrifugadas a 10.000 rpm por 5 minutos. O sobrenadante foi descartado, e os microtubos retornaram à estufa por 24 horas a 80 °C. Ao final, os mesmos foram levados ao dessecador por 40 minutos para posterior pesagem. A biomassa final presente no cultivo foi determinada por diferença de massa.

A contagem celular (MILES, 1938) foi realizada por meio de plaqueamento. Ao final do cultivo, foi retirada uma amostra de 1 mL, a qual foi submetida a diluições seriadas até atingir as diluições de 10^{-5} a 10^{-6} . Dessas diluições, foram retirados 0,1 mL para inoculação em placas de Petri contendo meio ágar nutriente, as quais foram mantidas em incubadora a 30 °C por 24 horas.

Para a análise de ácido indol-3-acético (adaptado de GORDON, 1951) após 26 horas de cultivo, utilizou-se o reagente de Salkowski. Inicialmente, retiraram-se 2 mL de cada cultura, as quais foram centrifugadas a 6.000 rpm por 3 minutos. Em seguida, 1,2 mL do sobrenadante foi coletado e adicionado a 0,8 mL do reagente de Salkowski. As amostras finais permaneceram por 30 minutos na ausência de luz, a fim de evitar a oxidação da solução, e posteriormente foram submetidas à leitura de absorbância, realizada a 540 nm. Todo o procedimento foi realizado em triplicata.

4.4. AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE ART, PH E TEMPERATURA NO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE AIA PELA TB3

Optou-se pela utilização de um planejamento fatorial para avaliar a influência das condições de cultivo sobre o desenvolvimento do microrganismo. Esse tipo de planejamento experimental possibilita analisar simultaneamente os efeitos das variáveis independentes e suas interações.

Foram realizados 11 cultivos com duração de 48 horas, sob condições de pH variando entre 5 e 7, concentração de açúcares redutores totais entre 1 e 5 g/L e temperatura variando de 27 a 37 °C.

Tabela 4.5 – Matriz experimental

EXPERIMENTO	ART(g/L)	pH	TEMPERATURA (°C)
I	1	5	27
II	5	5	27
III	1	7	27
IV	5	7	27
V	1	5	37
VI	5	5	37
VII	1	7	37
VIII	5	7	37
IX	3	6	32
X	3	6	32
XI	3	6	32

Fonte: Autor, 2025

Antecedendo os cultivos, um pré-inóculo de 24 horas foi preparado e, a partir dele, 12 mL de cultura ativa foram transferidos para 108 mL de cada um dos 11 cultivos preparados. Todos os ensaios foram conduzidos em frascos de erlenmeyer.

Ao final de cada experimento, após 48 horas, foram avaliados peso seco celular, contagem de células viáveis por plaqueamento e produção de ácido indol-3-acético (AIA).

Para a análise estatística no software Statistica, foi considerada apenas a variável resposta referente à produção de AIA, uma vez que as demais variáveis analisadas não apresentaram resultados estatisticamente relevantes dentro das condições experimentais avaliadas.

A autoclavagem e as análises de peso seco, contagem celular, açúcares redutores totais e quantificação de AIA foram realizadas conforme metodologias previamente descritas.

Os ajustes de pH foram realizados com soluções de HCl 10% ou NaOH 10%, com monitoramento em pHmetro de bancada.

As proporções dos cultivos foram definidas com base nos sólidos solúveis totais (6,6 °Brix) e na concentração de ART do suco puro (79,79 mg/mL), conforme as seguintes composições:

- 1 mg/mL: 2 mL de suco puro + 118 mL de água destilada + 0,1 g de extrato de levedura
- 3 mg/mL: 5 mL de suco puro + 115 mL de água destilada + 0,1 g de extrato de levedura
- 5 mg/mL: 8 mL de suco puro + 112 mL de água destilada + 0,1 g de extrato de levedura

Por fim, os dados obtidos foram analisados no software Statistica, a fim de avaliar a influência de cada variável sobre o cultivo.

4.5. CRESCIMENTO BACTERIANO COM VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE AÇÚCARES NO SUCO

Com base nos resultados obtidos, a melhor condição de pH e temperatura foi adotada para avaliar variações mais intensas de ART. Inicialmente, o suco de melancia foi centrifugado a 10.000 rpm durante 5 minutos a fim de minimizar os resíduos sólidos presentes. Em seguida, foram preparados dois meios de 200 mL em frascos de erlenmeyer, contendo:

- 100 mL de suco centrifugado + 100 mL de água destilada + 0,2 g de extrato de levedura;
- 200 mL de suco centrifugado + 0,2 g de extrato de levedura.

Para fins comparativos, também foi preparado um meio contendo apenas 5 mg/mL de ART preparado do mesmo modo descrito no tópico 4.4.

Todos os meios foram autoclavados nas mesmas condições, preservando os açúcares presentes. Em seguida, de maneira análoga ao previamente descrito, o microrganismo foi inoculado por meio de um pré-inóculo. A partir dele, 12 mL foram inseridos em cada cultivo e os mesmos foram conduzidos por 72 horas sob agitação de 180 rpm e temperatura de 27 °C. Todo o processo foi realizado em duplicata.

Durante o período de cultivo, foram coletadas alíquotas de 2 mL em intervalos regulares para as análises de pH, sólidos solúveis totais (°Brix), açúcares redutores totais, turbidimetria e biomassa seca.

4.6. AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO BACTERIANO EM MEIOS À BASE DE CASCA DE MELANCIA

Para o preparo dos meios, inicialmente a polpa da melancia foi separada das cascas e as mesmas foram raladas em ralador doméstico. Posteriormente, o resíduo gerado foi levado para um liquidificador residencial e para cada 150 g de cascas foram adicionados 100 mL de água filtrada, por fim, o líquido gerado passou por peneira de 0,8 a 1,5 mm de abertura, a fim de reter os sólidos.

Ademais, a fração sólida das cascas que não foi convertida em suco foi separada para ser utilizada como meio sólido.

A fração líquida foi caracterizada quanto ao pH, açúcares redutores totais e sólidos solúveis totais (°Brix). Em síntese, a partir das cascas de melancia foram gerados três tipos de meio de cultivo. Os meios continham:

(I) 120 mL da fração líquida gerada, com adição de 0,1 g de extrato de levedura e ajuste de pH com NaOH 10% para faixa neutra;

(II) 60 mL da fração líquida gerada com acréscimo de 60 mL de água destilada, com adição de 0,1 g de extrato de levedura e ajuste de pH com NaOH 10% para faixa neutra;

(III) 50 g da fração sólida gerada.

Todos os meios passaram por processos de esterilização à 100 °C durante 5 minutos, em autoclave com válvula aberta para que os açúcares presentes não fossem prejudicados.

Antes de inocular a TB3, foi realizado um pré-inóculo com tempo de incubação de 24 h, em condições de 180 rpm, 27 °C e meio comercial caldo nutriente, com a finalidade de reativar a cultura bacteriana. A quantidade de caldo com bactéria ativa adicionada a cada cultivo foi de 12 mL para os meios líquidos e 5 mL para o meio sólido.

O experimento manteve-se durante 48 horas, os meios (I) e (II) foram levados à incubadora shaker a 27 °C e 180 rpm, enquanto o (III) permaneceu na incubadora sem agitação com a mesma temperatura.

Para (I) e (II) foram coletadas amostras para análises de peso seco, sólidos solúveis totais (°Brix), pH e açúcares redutores totais durante todo o período, com intuito de acompanhar o crescimento gradual da TB3, e ao final do experimento foram realizadas contagens em placas de petri. Para (III), o crescimento foi avaliado visualmente, observando-se a capacidade de desenvolvimento do microrganismo.

4.7. PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DOS BIOINOCULANTES

Inicialmente, procedeu-se à preparação dos meios e à inoculação, seguindo a mesma metodologia previamente descrita. A partir dos meios com bactéria ativa estabeleceram-se os seguintes bioinoculantes:

(1) Meio (I) com bactéria ativa após 48 horas de crescimento (120 mL da fração líquida gerada + 0,1g de extrato de levedura);

(2) Meio (II) com bactéria ativa após 48 horas de crescimento (60 mL da fração líquida gerada com acréscimo de 60 mL de água destilada + 0,1g de extrato de levedura);

(S) 20 g do meio (III) com bactéria ativa após 48 horas de crescimento + 200 mL de água destilada estéril.

Foi realizado um ensaio inicial em copos plásticos de 150 mL com 0,50 g de algodão em cada um. Para o ensaio, duas sementes de milho foram testadas:

(a) Milho Crioulo;

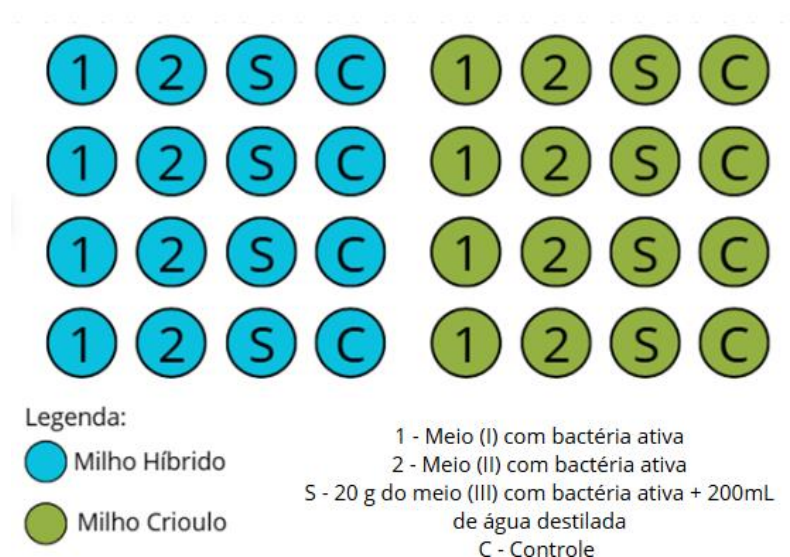
(b) Milho Híbrido tratado com fungicida (0,25% de Thiram).

A fim de minimizar os fungicidas presentes na parte de exterior das sementes, as mesmas passaram por três lavagens consecutivas com água e sabão neutro. Em seguida, as sementes (a) e (b) passaram por lavagens rápidas em álcool 70%, solução de hipoclorito de sódio a 1% e água destilada visando minimizar microrganismos e sujidades já presentes.

Com a finalidade de comparar os resultados obtidos, foi estabelecido um tratamento controle (C), no qual se realizou apenas a irrigação com água destilada.

O ensaio ocorreu de modo que as sementes foram dispostas nos copos com algodão do assim como apresentado na figura 4.1 e os dias de irrigação e os volumes aplicados estão apresentados na Tabela 4.5. Todos os volumes aplicados foram inoculações diretas às sementes. A temperatura foi mantida em condições de ambiente, sem exposição direta à luz solar.

Figura 4.1 - Ensaio em algodão



Fonte: Autor, 2026

Tabela 4.6 - Volumes de irrigação

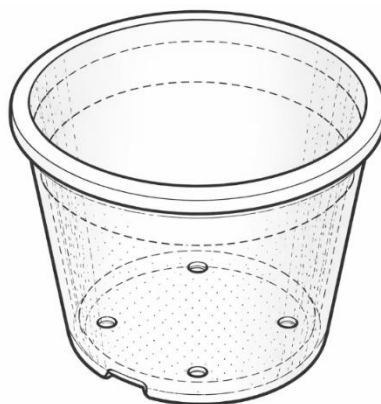
DIA	VOLUME APLICADO
1 (tempo 0h)	5 mL
2	3 mL
3	3 mL
4	0 mL
5	2 mL
6	0 mL

Fonte: Autor, 2026

4.8. AVALIAÇÃO DO BIOINOCULANTE EM VASOS COM SUBSTRATO COMERCIAL

A partir dos resultados obtidos na seção anterior, procedeu-se à seleção do melhor tratamento para repetição, os novos ensaios ocorreram em vasos de 150 mL de volume e com 30 g de substrato comercial para jardinagem. Considerando que uma maior carga microbiana poderia favorecer a competição com a semente e comprometer a germinação, foi escolhido o substrato (S) formulado a partir de 20 g do meio (III) com bactéria ativa após 48 horas de crescimento + 200 mL de água destilada estéril e manteve-se o controle (C) com irrigação apenas de água destilada. Nessa etapa, sementes de feijão foram adicionadas, em função do rápido crescimento e da diferença de espécie em relação ao material principal.

Figura 4.2 - Visualização do vaso de 150 mL utilizado no ensaio.



Fonte: Autor, 2026

Além disso, a aplicação do bioinoculante foi realizada somente após a emergência das plântulas, pois essa estratégia apresentou melhor desempenho nos ensaios anteriores.

Figura 4.3 - Sementes utilizadas no cultivo em substrato comercial



Fonte: Autor, 2026

O ensaio foi conduzido com as sementes dispostas nos vasos contendo substrato, conforme ilustrado na Figura 4.4.

Figura 4.4 - Ensaio com substrato comercial



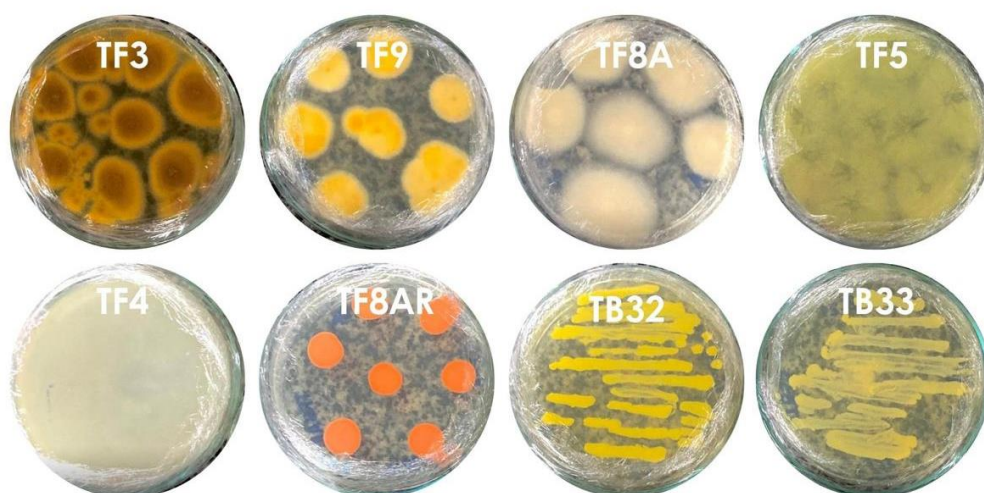
Fonte: Autor, 2026.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. REPIQUE E MANUTENÇÃO DE MICRORGANISMOS

Todos os microrganismos sobreviveram em condições laboratoriais durante toda a vigência, nas figuras 5.1 e 5.2 abaixo estão apresentadas fotos dos microrganismos após o repique. É importante citar que os microrganismos denominados de “TB32” e “TB33” foram isolados de um plaquemento a partir de uma cultura com suco de melancia e a TB31 ou TB3, realizada na vigência anterior dessa pesquisa. Por não ter conhecimento se ocorreu uma contaminação ou uma mutação para resistir às condições do suco, essas também foram isoladas em ágar nutriente.

Figura 5.1 – Repique dos microrganismos isolados do Tamboril no meio ágar batata dextrose e ágar nutriente (TB32 e TB33)



FONTE: Autor, 2025.

Figura 5.2 - Repique dos microrganismos isolados do Tamboril no meio ágar nutriente



FONTE: Autor, 2024.

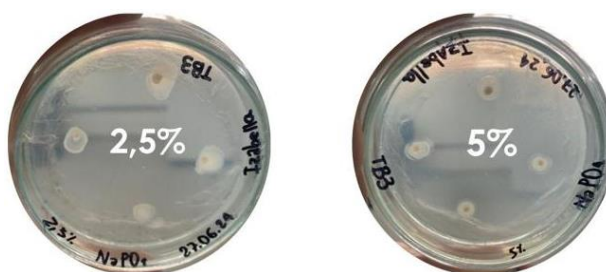
5.2. CARACTERIZAÇÃO FUNCIONAL DA BACTÉRIA TB3

5.2.1. Análise de solubilização de fosfato

Quando o microrganismo rizosférico é capaz de solubilizar fosfatos, ele torna o fósforo do solo disponível, essencial para energia, crescimento e metabolismo vegetal.

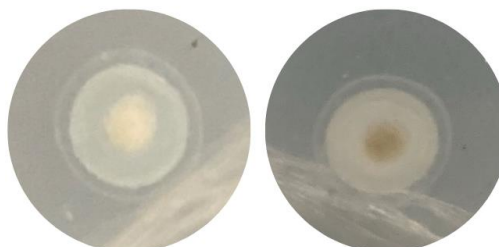
A bactéria TB3, foi capaz de solubilizar fosfatos, seu crescimento em halos foi uniforme e constante, assim como exposto na figura 5.3.

Figura 5.3 - Solubilização de fosfatos da TB3



FONTE: Autor, 2024.

Figura 5.4 - Solubilização de fosfatos da TB3 com zoom



FONTE: Autor, 2024.

5.2.2. Análise de fixação de nitrogênio

A bactéria TB3 demonstrou capacidade de fixação de nitrogênio, evidenciada pelo crescimento observado no meio R2 durante o repique de confirmação. Contudo, esse crescimento foi bastante sutil, sugerindo uma atividade fixadora discreta ou uma adaptação limitada às condições do meio, conforme ilustrado na figura abaixo.

Figura 5.5 - Fixação de nitrogênio da TB3



FONTE: Autor, 2024.

5.2.3. Análise de produção de ácido indol-3-acético (AIA)

É importante saber que são considerados níveis de baixa produção de AIA quando < 1 g/mL, para média produção a faixa é 1-10g/mL, a alta produção está situada no intervalo de 11-50 g/mL e se situada em valores > 51 g/mL é considerada elevada produção. (KAVAMURA et al, 2013)

Tabela 5.1 - Valores de produção de ácido indol-3-acético pela TB3

	Sem triptofano	Com triptofano
AIA ($\mu\text{g/mL}$)	6,48	9,44
AIA ($\mu\text{g/mL}$) (duplicata)	6,94	9,07

FONTE: Autor, 2024

Os valores de produção de ácido indol-3-acético encontrados foram situados na faixa de média produção, provavelmente ocasionados pelo tempo em que a bactéria foi retirada do solo, fazendo com que a mesma abandone algumas características para continuar sobrevivendo em condições laboratoriais.

5.3. FORMULAÇÃO DE MEIO ALTERNATIVO COM SUCO DE MELANCIA E AVALIAÇÃO DA CINÉTICA DE CRESCIMENTO MICROBIANO

5.3.1. Caracterização da melancia

O pH inicial do suco foi de 5,37, °Brix de 6,6, açúcares redutores de 24,97 g/L e açúcares redutores totais de 79,79 g/L.

5.3.2. Meio de cultura sintético X alternativo

As fotografias apresentadas na Figura 5.6 mostram o aspecto final dos meios após o preparo.

Figura 5.6 - Aspecto visual dos meios

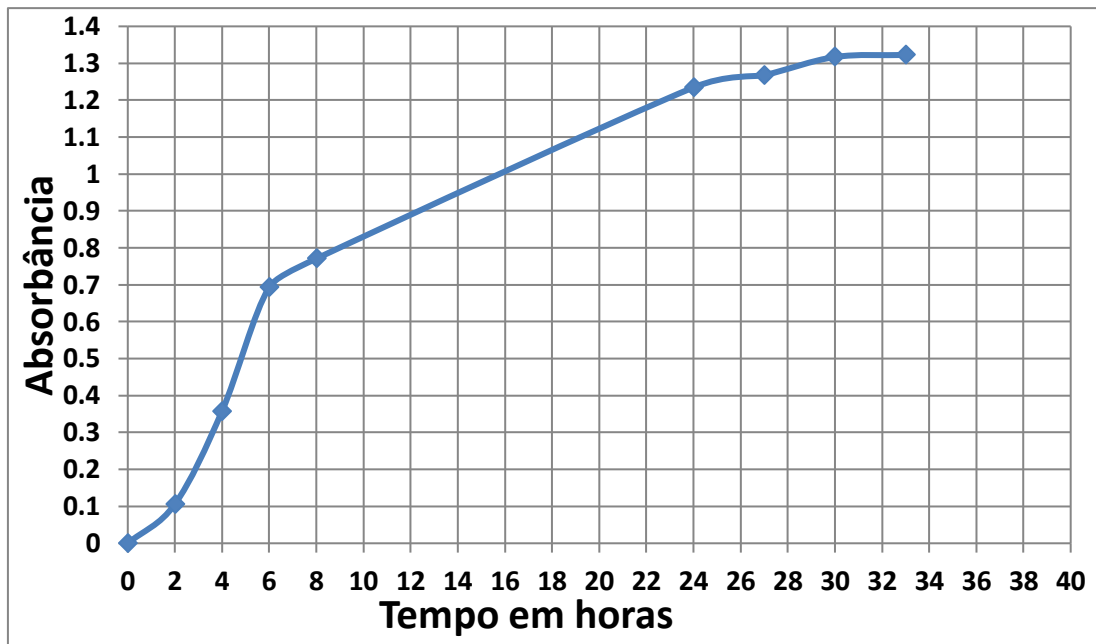


FONTE: Autor, 2025

5.3.3. Avaliação cinética

Para o cultivo em meio comercial no tempo igual a 0 horas, o valor de absorbância inicial média foi de 0, sólidos solúveis totais (°Brix) mantendo-se praticamente constante durante todo o experimento e pH 7,07. O fim da fase exponencial de crescimento microbiano é marcada pelo tempo de 8 horas e pelos valores de absorbância de 1,0095 e pH igual a 6,2. Ao fim do cultivo, com 33 horas, os valores de absorbância foram de 1,459 e pH 7,8. Os valores de concentração no fim do cultivo foram de 1,29 g/L ou $7,8 \times 10^8$ UFC/mL.

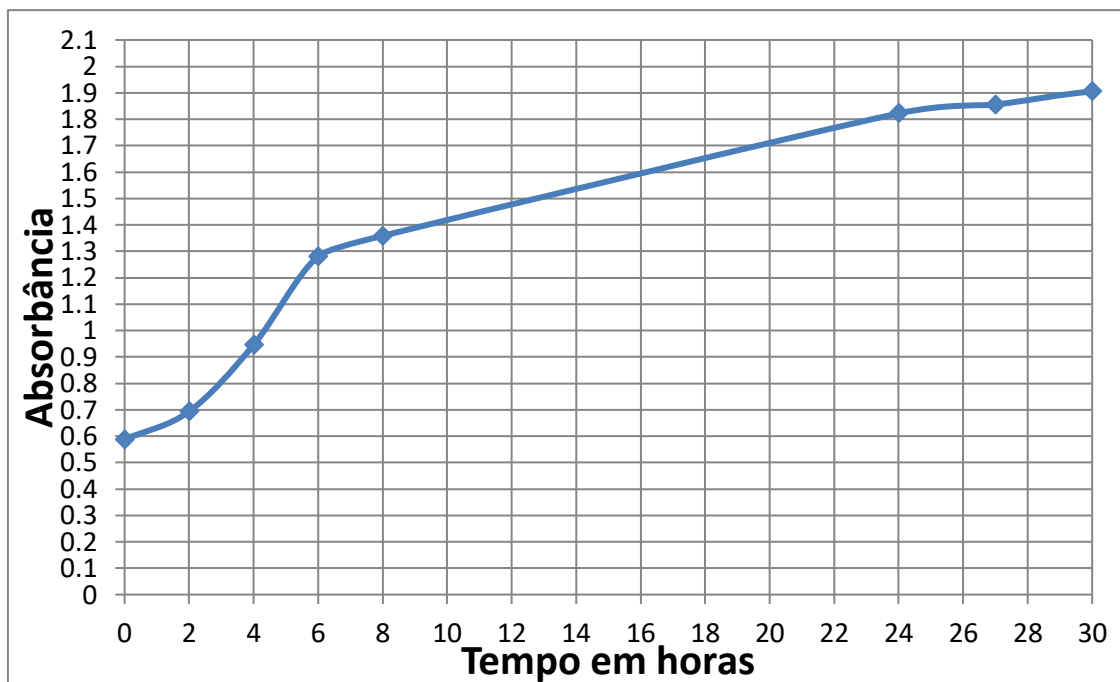
Figura 5.7 - Gráfico de crescimento da TB3 em meio comercial



FONTE: Autor, 2025

No tempo igual a 0 horas, o valor de absorbância inicial média foi de 0,5875, sólidos solúveis totais (°Brix) igual a 1,2 e pH 7. O fim da fase exponencial de crescimento microbiano é marcada pelo tempo de 8 horas e pelos valores de absorbância de 1,358, sólidos solúveis totais (°Brix) de 0,9 e pH igual a 5,2. Ao fim do cultivo, com 30 horas, os valores de absorbância foram de 1,91, sólidos solúveis totais (°Brix) igual a 0,6 e pH 7,5. Os valores de concentração no fim do cultivo foram respectivamente $1,72 \times 10^{12}$ UFC/mL ou 1,78 g/L. Denotando um bom desenvolvimento e crescimento no meio alternativo feito através do suco de melancia.

Figura 5.8 - Gráfico de crescimento da TB3 em meio alternativo



FONTE: Autor, 2024

O meio alternativo à base de suco de melancia apresentou maior eficiência no crescimento bacteriano quando comparado ao caldo nutriente. Ademais, os valores de absorbância atingiram níveis mais elevados ao longo do tempo, indicando maior biomassa microbiana. Além disso, o crescimento aumentou gradativamente por um período mais prolongado, sugerindo melhor disponibilidade de nutrientes e maior adequação do meio de melancia para o desenvolvimento da bactéria.

Percebe-se também um aumento na produção de AIA, principalmente no cultivo III, quando comparado ao encontrado no tópico 5.2.3. ao utilizar triptofano, mostrando a viabilidade de preterir meios comerciais frente a meios alternativos.

5.4. AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE ART, PH E TEMPERATURA NO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE AIA PELA TB3

Na tabela 6 estão dispostas as condições utilizadas em cada experimento e seus resultados de biomassa seca por volume e produção de ácido indol-3-acético.

Tabela 5.2 - Condições experimentais, AIA e concentração de biomassa bacteriana

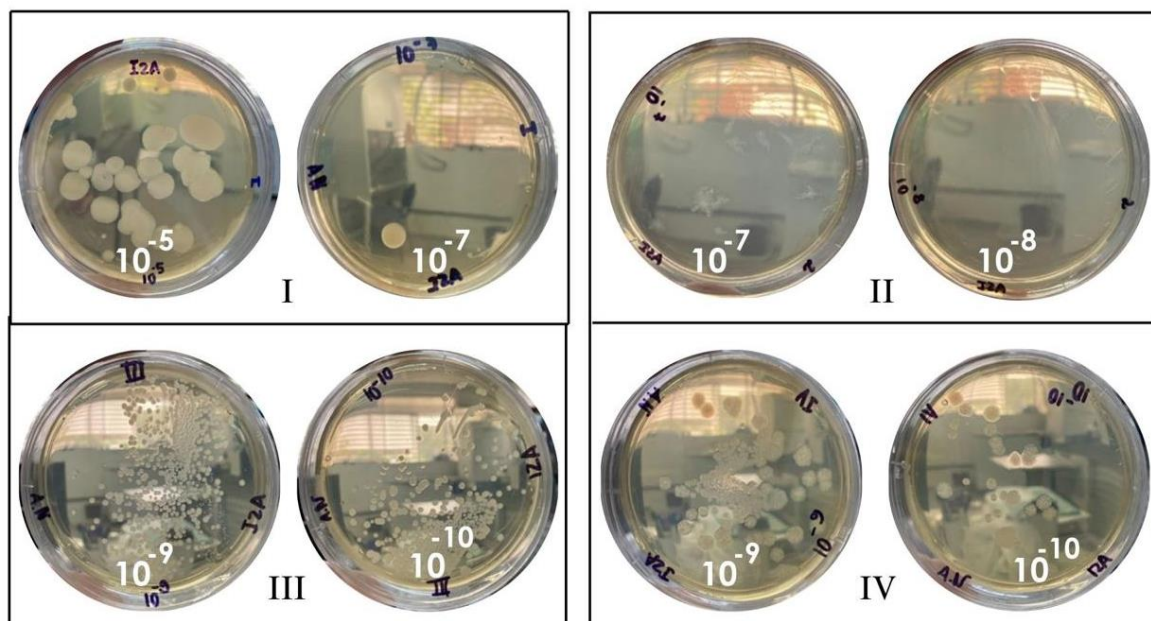
EXPERIMENTO	ART (g/L)	pH	TEMPERATURA (°C)	AIA (µg/mL)	Concentração (g/mL)
I	1	5	27	4,9065	0,95
II	5	5	27	3,7030	1,1
III	1	7	27	11,8497	0,45
IV	5	7	27	8,7021	1,4
V	1	5	37	6,5729	0,7
VI	5	5	37	1,6663	0,95
VII	1	7	37	8,0541	0,25
VIII	5	7	37	1,4812	0,85
IX	3	6	32	5,1842	1,55
X	3	6	32	6,5729	0,85
XI	3	6	32	7,6838	1,8

FONTE: Autor, 2025.

Quanto à produção de AIA, os cultivos III, IV e VII apresentaram os maiores valores, corroborando a adequação do meio básico para o cultivo. Já no que se refere à concentração celular, os cultivos IV, IX e XI apresentaram os valores mais elevados, indicando que a TB3 apresenta melhor desenvolvimento em pH 7 associado a menores concentrações de açúcares.

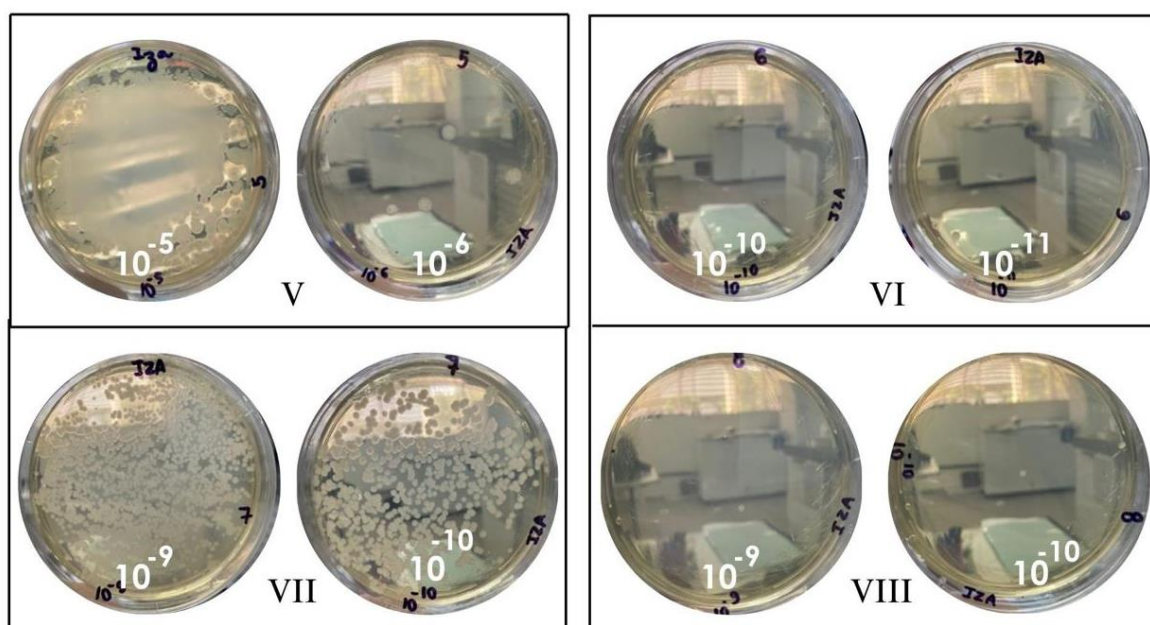
Nas Figuras 5.9, 5.10 e 5.11 são apresentados os resultados referentes às contagens de colônias, sendo observado que os cultivos III, IV e VII apresentaram os maiores números de colônias, o que reforça a preferência da bactéria por ambientes de caráter básico para seu desenvolvimento. Além disso, como a variação na concentração de açúcares não foi expressiva, a análise desse parâmetro indica que o microrganismo é capaz de se desenvolver em concentrações iguais ou superiores a 5 mg/mL, evidenciado pelo elevado número de colônias observadas. Em relação à temperatura, o melhor desempenho foi verificado a 27 °C.

Figura 5.9 - Contagem dos cultivos I à IV



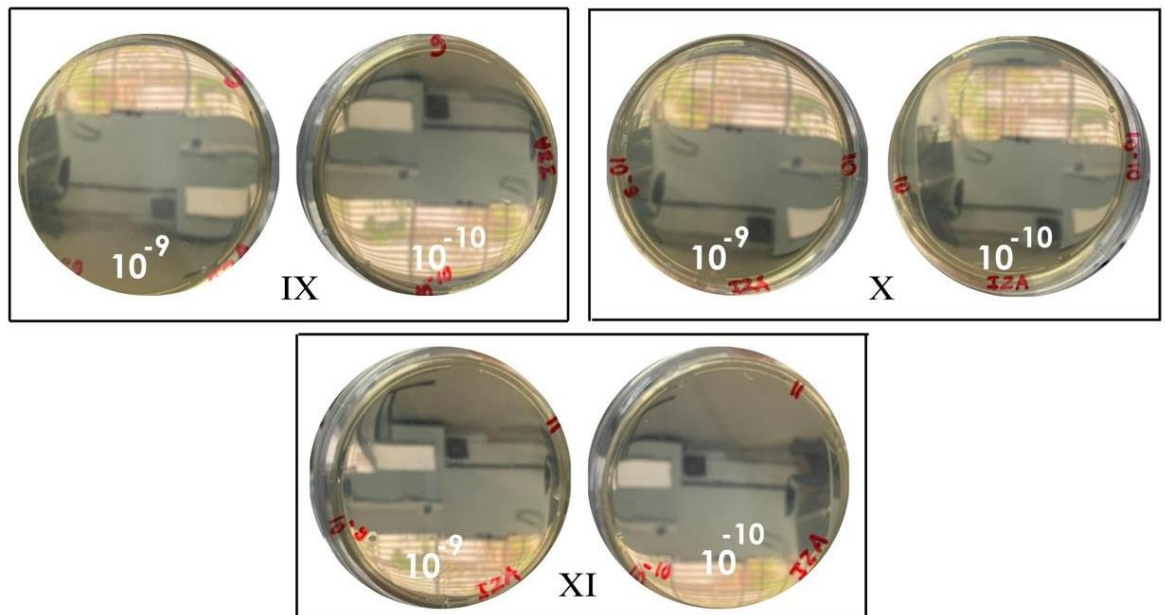
FONTE: Autor, 2025

Figura 5.10 - Contagem dos cultivos V à VIII



FONTE: Autor, 2025.

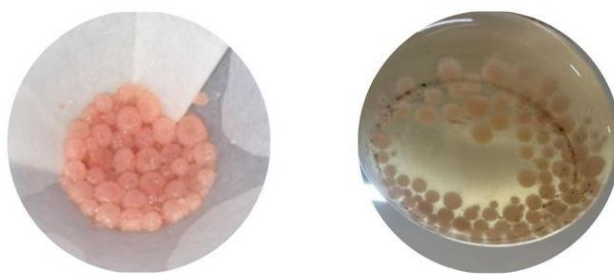
Figura 5.11 - Contagem dos cultivos IX à XI



FONTE: Autor, 2025.

É importante salientar que um comportamento inesperado ocorreu com a TB3 nos cultivos do ponto central. Nos cultivos centrais, a bactéria cresceu em aglomerados, dificultando o plaqueamento para a contagem e as medições de peso seco. Em especial, no cultivo IX foram encontrados os maiores aglomerados.

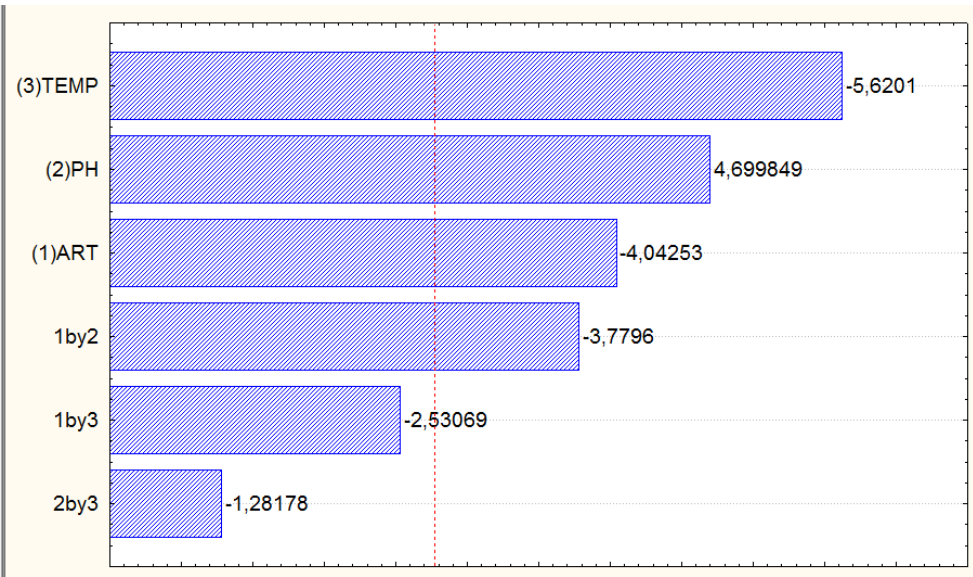
Figura 5.12 - Crescimento no cultivo IX



FONTE: Autor, 2025.

Os resultados obtidos por meio do software Statistica demonstram a influência das variáveis temperatura (TEMP), pH (PH), açúcares redutores totais (ART) e suas interações na variável resposta produção de AIA, conforme apresentado na Figura 5.13.

Figura 5.13 - Gráfico de Pareto dos efeitos padronizados com $p=0,05$ para a variável AIA.



FONTE: Autor, 2025.

Na figura 5.14 são expostos os estimadores dos efeitos dos fatores e interações na resposta AIA.

Figura 5.14 - Estimadores dos efeitos para o AIA

Effect Estimates; Var.:AIA; R-sqr=.95848; Adj.:.89621 (iZA3) 2**(3-0) design; MS Residual=.9917704 DV: AIA										
Factor	Effect	Std.Err.	t(4)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	6,03427	0,300268	20,09628	0,000036	5,20059	6,86795	6,03427	0,300268	5,20059	6,86795
(1)ART	-2,84671	0,704191	-4,04253	0,015571	-4,80186	-0,89156	-1,42336	0,352096	-2,40093	-0,44578
(2)PH	3,30959	0,704191	4,69985	0,009309	1,35444	5,26474	1,65480	0,352096	0,67722	2,63237
(3)TEMP	-3,95762	0,704191	-5,62010	0,004928	-5,91277	-2,00248	-1,97881	0,352096	-2,95639	-1,00124
1 by 2	-2,66156	0,704191	-3,77960	0,019443	-4,61671	-0,70641	-1,33078	0,352096	-2,30835	-0,35321
1 by 3	-1,78209	0,704191	-2,53069	0,064617	-3,73724	0,17306	-0,89104	0,352096	-1,86862	0,08653
2 by 3	-0,90262	0,704191	-1,28178	0,269174	-2,85776	1,05253	-0,45131	0,352096	-1,42888	0,52627

FONTE: Autor, 2025.

Existe uma interação negativa significativa entre ART e pH, ou seja, quando ambos aumentam, a produção de AIA cai.

Na figura 5.15 abaixo são mostrados os coeficientes de regressão.

Figura 5.15 - Coeficientes de regressão para o AIA

Regr. Coefficients; Var.:AIA; R-sqr=,95848; Adj.,89621 (iZA3) 2**(3-0) design; MS Residual=,9917704 DV: AIA						
Factor	Regressn Coeff.	Std.Err.	t(4)	p	-90,% Cnf.Limt	+90,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	-26,9564	14,63489	-1,84192	0,139287	-58,1557	4,24299
(1)ART	0,6132	0,15544	3,94490	0,016890	0,2818	0,94458
(2)PH	6,5393	2,34110	2,79327	0,049148	1,5485	11,53022
(3)TEMP	0,4131	0,44117	0,93641	0,402076	-0,5274	1,35364
1 by 2	-0,0665	0,01760	-3,77960	0,019443	-0,1041	-0,02901
1 by 3	-0,0089	0,00352	-2,53069	0,064617	-0,0164	-0,00140
2 by 3	-0,0903	0,07042	-1,28178	0,269174	-0,2404	0,05986

FONTE: Autor, 2025.

A partir dos coeficientes de regressão obtidos no planejamento fatorial, foi possível ajustar um modelo matemático para descrever a produção de AIA em função das variáveis estudadas (ART, pH e temperatura).

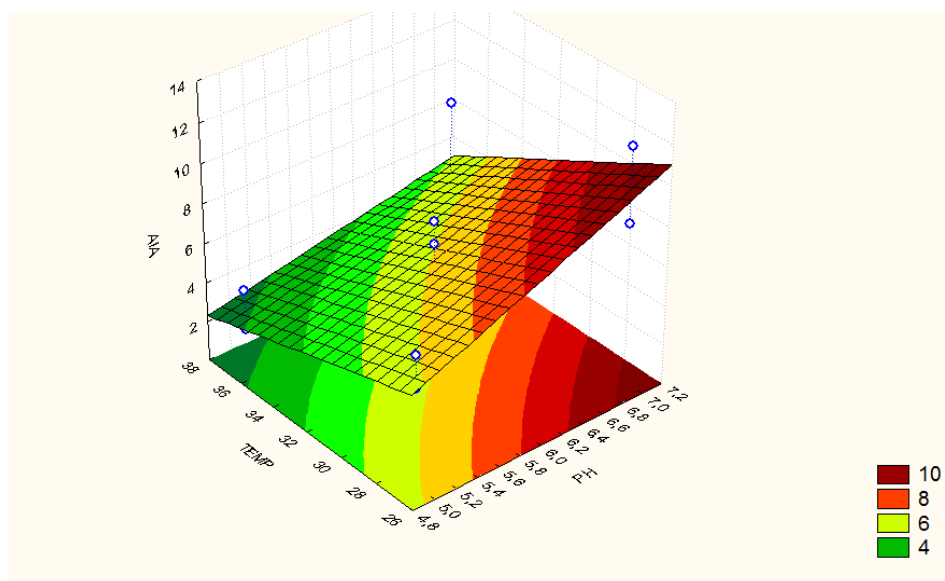
$$AIA = -26,9564 + 0,6132(ART) + 6,5393(pH) + 0,4131(TEMP) - 0,0665(ART * pH) - 0,0089(ART * TEMP) - 0,0903(pH * TEMP) \quad (\text{eq. 3})$$

A figura 5.15 mostra que a produção de AIA é mais favorecida por maiores valores de pH (mais básico) e por ART, sendo que a interação entre ART e pH tem efeito negativo.

Na figura 5.16 é denotado o gráfico de superfície ajustada, onde é mostrado que a maior produção de AIA (região vermelha escura) para ART fixo em 1 g/L ocorre quando:

- O pH está mais próximo da neutralidade (em torno de 6,5)
- A temperatura está mais baixa (por volta de 27 °C)

Figura 5.16 - Gráfico de superfície ajustada com base em dados experimentais

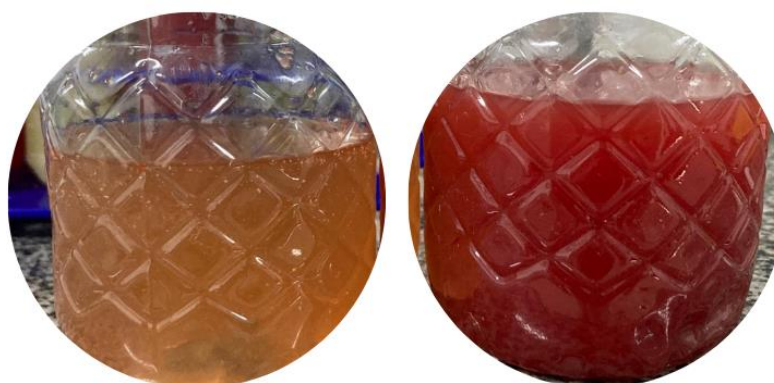


FONTE: Autor, 2025.

5.5. CRESCIMENTO BACTERIANO EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE AÇÚCARES NO SUCO

Na figura 5.17 é possível analisar o aspecto visual do suco de melancia puro após a centrifugação, há clara evidência de diminuição das partículas sólidas presentes no mesmo.

Figura 5.17 - Suco centrifugado X suco puro

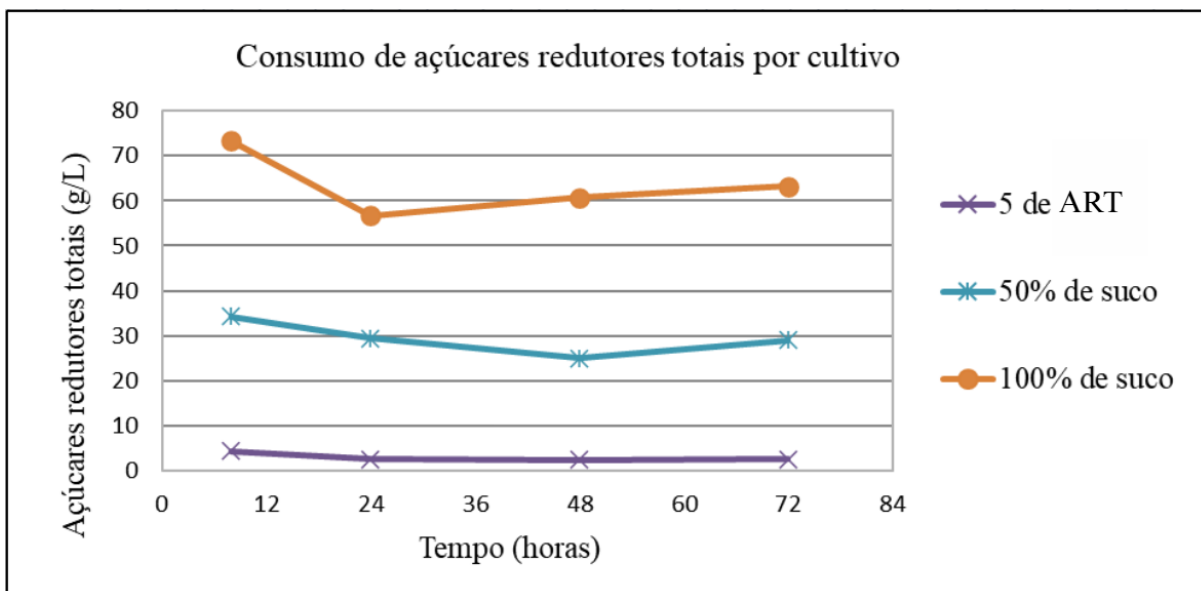


FONTE: Autor, 2025

Nas análises de consumo de açúcares redutores totais, apresentadas na figura 5.18, observa-se, conforme esperado, uma diminuição dos valores ao longo

do tempo, evidenciando o consumo desses compostos pelos microrganismos. Ressalta-se que os dados apresentados correspondem aos valores médios obtidos nas duplicatas.

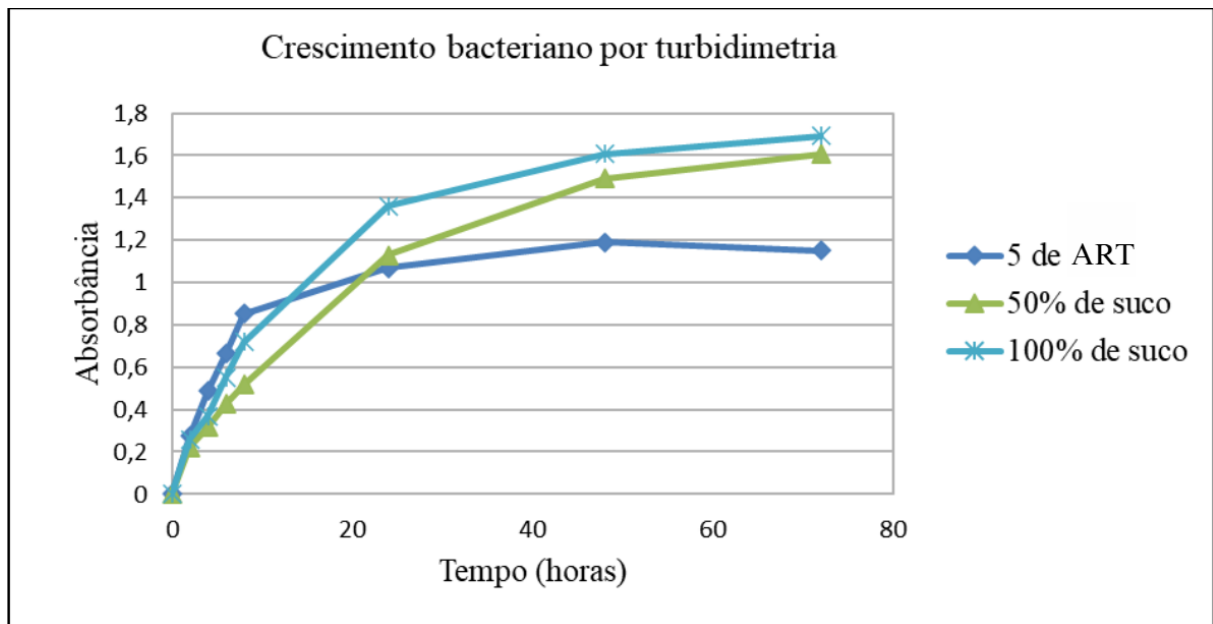
Figura 5.18 - Gráfico de consumo de ART por tempo



FONTE: Autor, 2025.

Pode-se observar, por meio da figura 5.19, que todos os cultivos apresentaram crescimento significativo em termos de turbidez, indicando que o microrganismo possui capacidade de desenvolvimento em diferentes concentrações de açúcares. Contudo, não foi observada a completa ausência de partículas no suco.

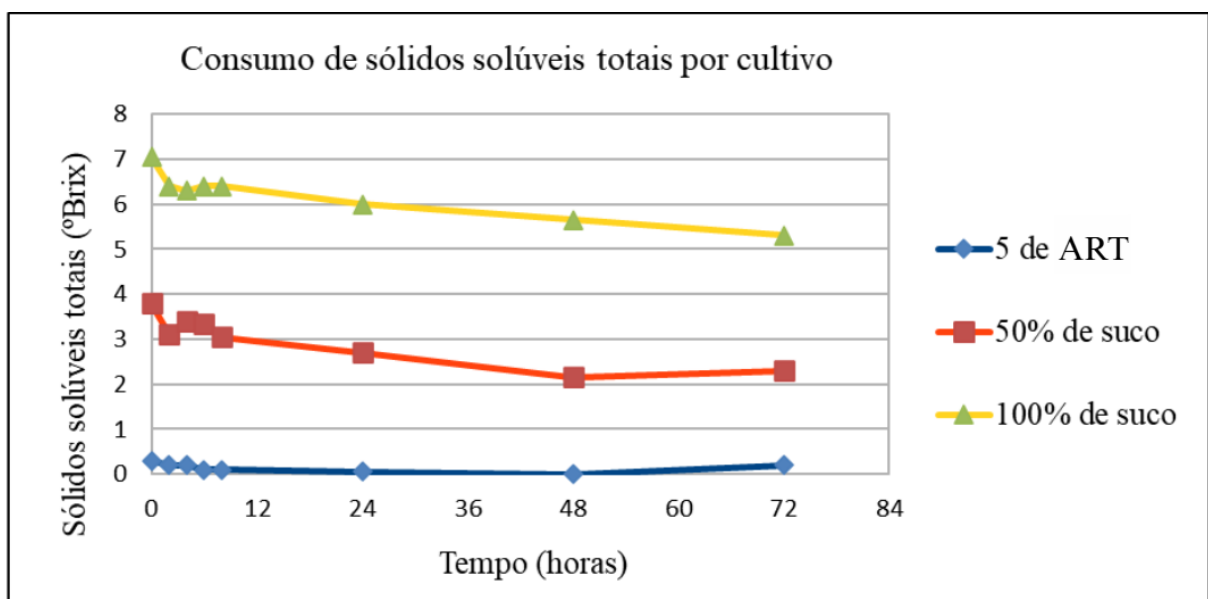
Figura 5.19 - Gráfico de crescimento bacteriano por turbidimetria



FONTE: Autor, 2025.

Nas análises de consumo de sólidos solúveis totais, apresentadas na figura 5.20, verifica-se, de maneira geral, uma redução dos valores ao longo do tempo, o que reforça o consumo dos açúcares presentes no meio para o crescimento microbiano.

Figura 5.20 - Gráfico de consumo de sólidos solúveis totais por tempo

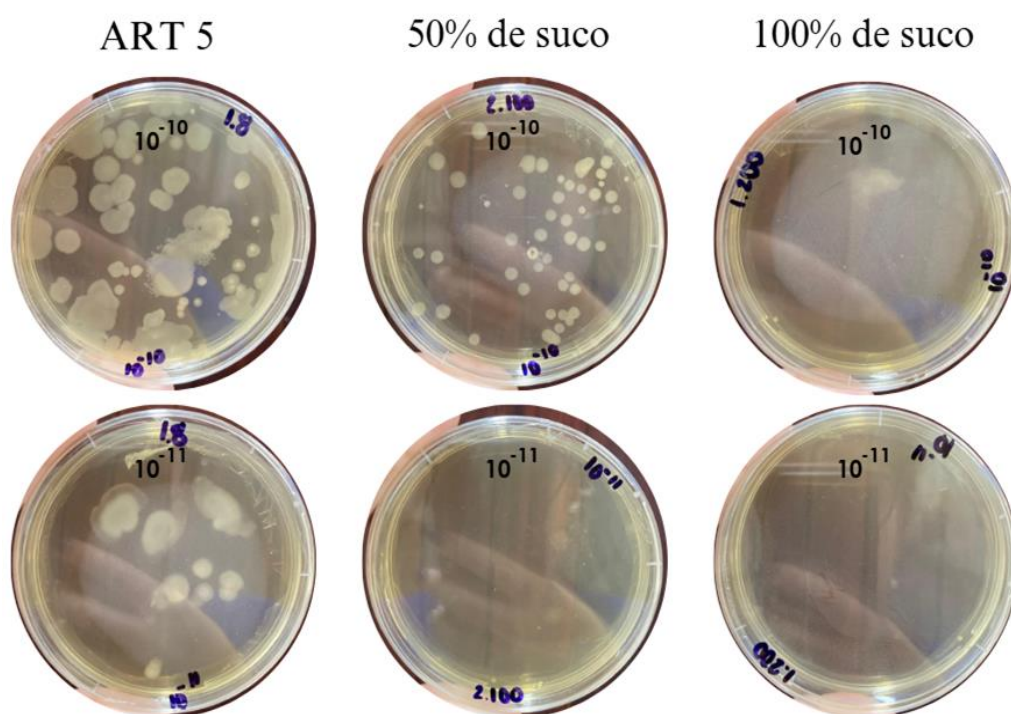


FONTE: Autor, 2025

Os resultados de pH demonstraram que, de forma geral, os cultivos permaneceram na faixa entre 5 e 6 durante todo o experimento.

Nas análises de contagem celular, destacaram-se os cultivos com 50% de suco e com ART 5, evidenciando possível ocorrência de inibição por substrato no cultivo contendo 100% de suco, diante do não crescimento bacteriano nas diluições de 10^{-10} e 10^{-11} . Embora a bactéria demonstre capacidade de crescimento, esse desenvolvimento pode ter sido limitado por efeitos inibitórios. Além disso, como o ensaio foi conduzido em duplicata. As contagens estão apresentadas na figura 5.21.

Figura 5.21 - Contagem em placa de petri

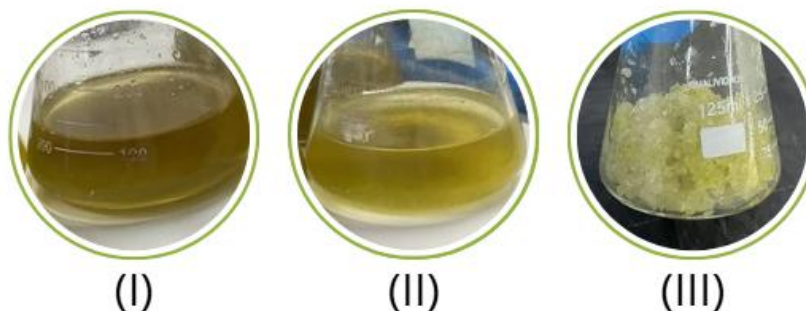


FONTE: Autor, 2025

5.6. AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO BACTERIANO EM MEIOS À BASE DE CASCA DE MELANCIA

Na figura 5.22 abaixo estão os meios (I), (II) e (III) antes da inoculação bacteriana.

Figura 5.22 - Aspecto visual dos meios à base de casca de melancia



Fonte: Autor, 2026.

Na tabela abaixo estão descritos valores de pH obtidos ao longo do tempo.

Tabela 5.3 - Variação do pH por tempo

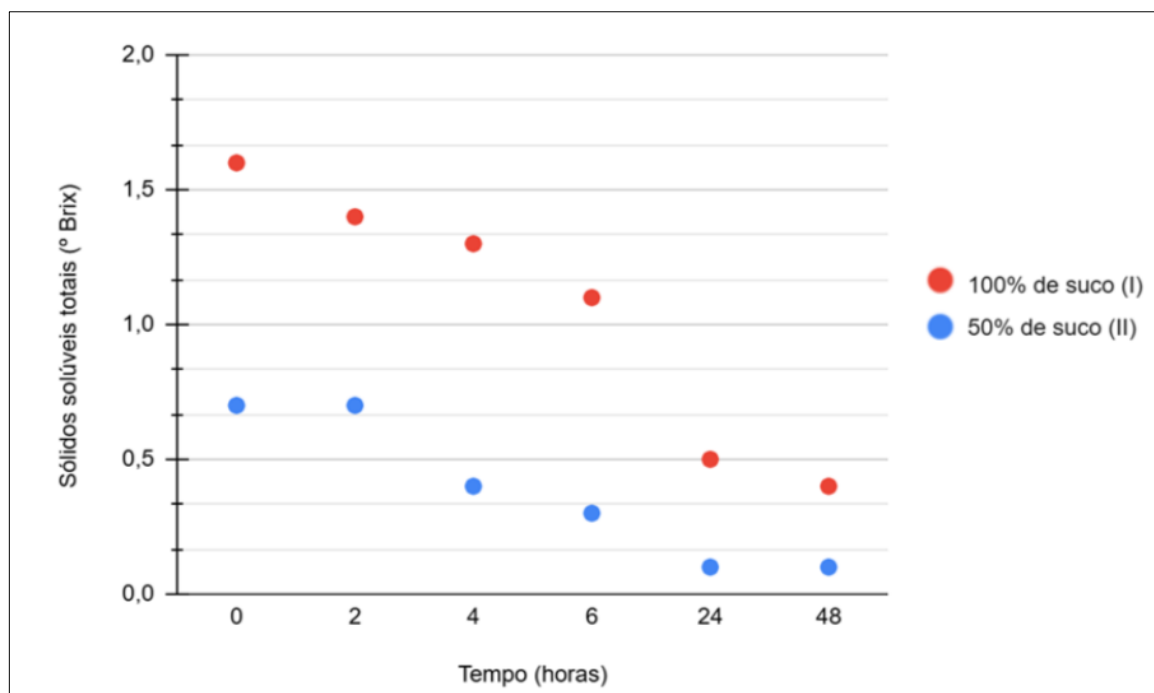
Tempo (horas)	(I)	(II)	(III)
0	7,8	7,0	5,5
2	5,6	6,1	
4	5,88	5,94	
6	6,2	6,0	
24	5,62	6,62	
48	6,59	7,04	

Fonte: Autor, 2026.

Para evitar contaminações, o meio sólido não sofreu ajustes de pH e leituras ao decorrer do tempo.

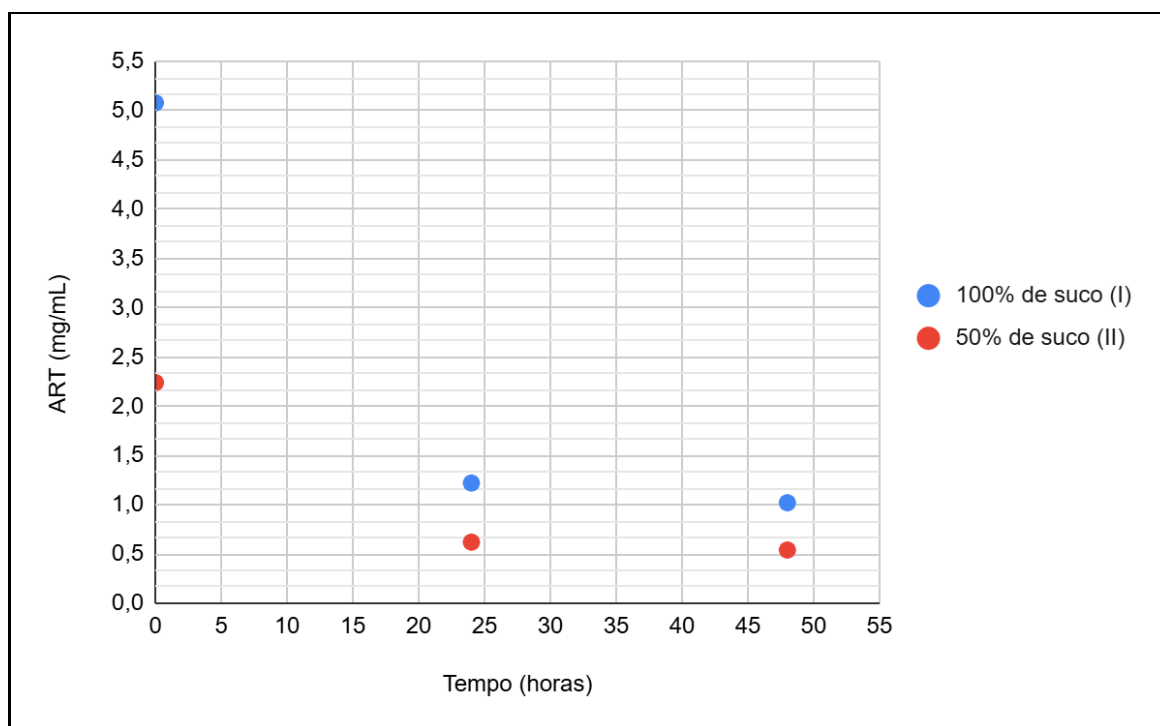
A partir da metodologia descrita, são apresentados a seguir os resultados obtidos para análises de sólidos solúveis totais (°Brix) e açúcares redutores totais.

Figura 5.23 - Variação dos sólidos solúveis totais com o tempo



Fonte: Autor, 2026.

Figura 5.24 - Variação dos açúcares redutores totais com o tempo

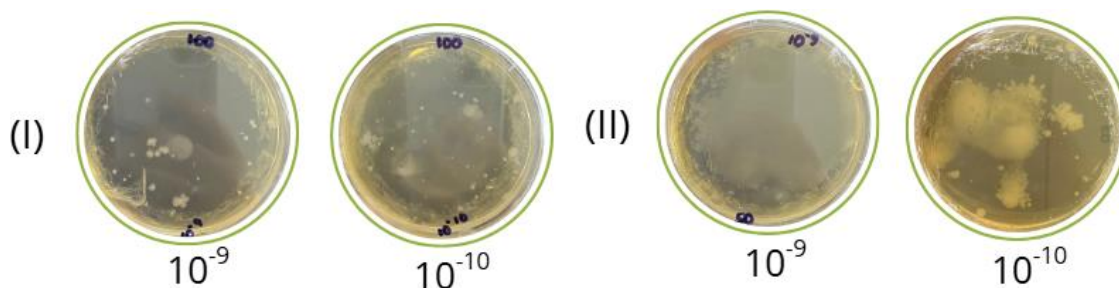


Fonte: Autor, 2026.

Conforme o esperado, os meios apresentaram redução de açúcares redutores totais e sólidos solúveis totais com o decorrer do experimento, reforçando o consumo dos mesmos em prol do crescimento microbiano.

O comportamento descrito anteriormente pode ser confirmado através dos resultados da contagem com diluições seriadas apresentadas abaixo.

Figura 5.25 - Contagem em placa de petri para os meios (I) e (II)



Fonte: Autor, 2026.

Observa-se um crescimento excessivo de colônias nas placas, principalmente no cultivo (II), impossibilitando a contagem, o que indica que a amostra poderia ter sido submetida a diluições mais elevadas, ou seja, a bactéria se desenvolveu bem diante das condições aplicadas.

Os valores de biomassa seca apresentaram certa inconsistência, uma vez que, embora tenha ocorrido o consumo de açúcares redutores totais e de sólidos solúveis totais, algumas partículas da casca da melancia não foram consumidas, o que interferiu na determinação da mesma. Esse comportamento pode ser visualizado na figura 5.26.

Figura 5.26 - Partículas não consumidas pela TB3



Fonte: Autor, 2026.

Apesar das variações apresentadas anteriormente, os resultados permitem identificar um aumento do crescimento microbiano a partir de 6 h de cultivo para o cultivo (II).

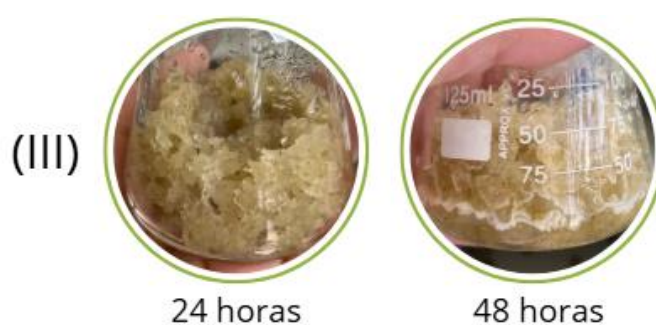
Tabela 5.4 - Variação de biomassa por tempo

Tempo (horas)	(I)	(II)
0	0,0076 g	0,0041 g
4	0,0041 g	0,0032 g
6	0,0045 g	0,001 g
24	0,006 g	0,0021 g
48	0,0086 g	0,0046 g

Fonte: Autor, 2026.

Para o meio sólido, foi acompanhado o crescimento visual da colônia, ademais, após 48 h o desenvolvimento tornou-se mais evidente.

Figura 5.27 - Aspecto visual do meio (III)



Fonte: Autor, 2026.

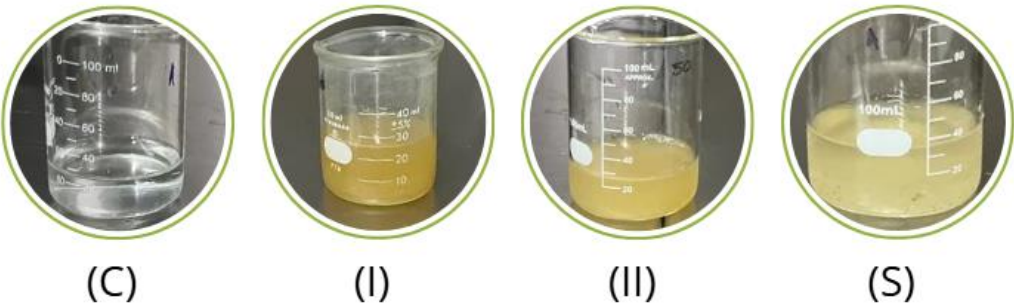
Diante dos resultados obtidos no planejamento experimental, sabe-se que a TB3 tem crescimento favorecido em pH neutro, como o cultivo (III) apresentou pH inicial ácido, presumiu-se que ele apresentou o pior desenvolvimento bacteriano

diante da comparação com os cultivos (I) e (II). Observou-se que o cultivo (II) apresentou desempenho superior quanto ao crescimento microbiano.

5.7. PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DOS BIOINOCULANTES

Os meios utilizados para irrigação, empregados como bioinoculantes, assim como o tratamento controle, estão dispostos na figura 5.28.

Figura 5.28 - Aspecto visual dos tratamentos utilizados



Fonte: Autor, 2026.

Tabela 5.5 - Sementes germinadas por dia

Dia	Milho Híbrido (I)	Milho Crioulo (I)	Milho Híbrido (II)	Milho Crioulo (II)	Milho Híbrido (S)	Milho Crioulo (S)
2	0/4	0/4	0/4	0/4	0/4	0/4
3	0/4	0/4	0/4	0/4	0/4	0/4
4	0/4	0/4	0/4	0/4	0/4	0/4
5	0/4	2/4	1/4	1/4	2/4	1/4
6	0/4	2/4	1/4	1/4	2/4	1/4

Fonte: Autor, 2026.

Tabela 5.6 - Sementes germinadas no controle por dia

Dia	Milho Híbrido (C)	Milho Crioulo (C)
2	0/4	0/4
3	0/4	0/4
4	0/4	0/4
5	3/4	2/4
6	3/4	2/4

Fonte: Autor, 2026.

Das sementes germinadas foram medidos, nos dois dias de crescimento, o tamanho aproximado do caule que emergiu, a fim de comparar seu desenvolvimento.

Para as sementes de milho híbrido crescidas com inoculação do tipo (I) não houve crescimento diante do meio ter mais teor de açúcares e alta carga microbiana, isto é, concentração inibitória.

Para o (II) não houve inibição total, entretanto, sua concentração ainda é bastante concentrada. Nessa etapa destaca-se o crescimento radicular encontrado na amostra.

Figura 5.29 - Amostra 1 crescida em inoculante tipo (II)



Fonte: Autor, 2026

Tabela 5.7 - Crescimento do milho híbrido com o bioinoculante (II)

Amostra	1
Dia 5	2,0 cm
Dia 6	2,5 cm

Fonte: Autor, 2026.

Nas sementes híbridas crescidas em (S), duas amostras se desenvolveram, a amostra 1 permaneceu estagnada, enquanto a amostra 2 se desenvolveu bem.

Tabela 5.8 - Crescimento do milho híbrido com o bioinoculante (S)

Amostra	1	2
Dia 5	0,2 cm	0,5 cm
Dia 6	0,2 cm	2,0 cm

Fonte: Autor, 2026

Precedendo a análise do crescimento do milho híbrido no controle, é importante salientar que a amostra 3 recebeu no dia 5, por engano, 2 mL de bioinoculante (S). Diante do seu expansivo crescimento no dia 6, surge a possibilidade de ser mais viável inserir o bioinoculante após a semente emergir, evitando competição por nutrientes entre a semente e o microrganismo. Também destacou-se o crescimento radicular da amostra 3.

Figura 5.30 - Amostra que recebeu inoculante (S) por engano



Fonte: Autor, 2026

Tabela 5.9 - Crescimento do milho híbrido com o controle (C)

Amostra	1	2	3
Dia 5	0,2 cm	0,5 cm	1,0 cm
Dia 6	1,0 cm	3,5 cm	5,0 cm

Fonte: Autor, 2026

Diferente do híbrido, o milho crioulo apresentou maior tolerância ao estresse microbiano e maior rusticidade fisiológica quando exposto ao inoculante microbiano (I).

Tabela 5.10 - Crescimento do milho crioulo com o bioinoculante (I)

Amostra	1	2
Dia 5	0,2 cm	1,0 cm
Dia 6	0,2 cm	1,5 cm

Fonte: Autor, 2026

Para o (II), o milho crioulo não apresentou vantagens significativas se comparado ao (I). Entretanto, também apresentou germinação pontual e crescimento moderado.

Tabela 5.11 - Crescimento do milho crioulo com o bioinoculante (II)

Amostra	1
Dia 5	1,0 cm
Dia 6	1,5 cm

Fonte: Autor, 2026

Para (S), o crescimento observado foi muito superior ao controle (C), indicando forte resposta positiva ao bioinoculante sólido.

Tabela 5.12 - Crescimento do milho crioulo com o bioinoculante (S)

Amostra	1
Dia 5	2,5 cm
Dia 6	4,0 cm

Fonte: Autor, 2026

Tabela 5.13 - Crescimento do milho crioulo com o controle (C)

Amostra	1	2
Dia 5	0,1 cm	0,2 cm
Dia 6	0,5 cm	0,5 cm

Fonte: Autor, 2026

Diante das tabelas apresentadas o milho híbrido mostrou-se mais sensível ao inoculante microbiano concentrado e a alta taxa de microrganismos presentes no

mesmo, entretanto, apresentou ótimas respostas quando o mesmo foi inserido após a germinação das sementes.

O milho crioulo foi mais tolerante e respondeu fortemente ao inoculante microbiano (S). A aplicação direta na semente inibiu boa parte das germinações, porém, as sementes crescidas com inoculação microbiana apresentaram crescimento superior às sementes crescidas no controle (C).

Partindo do pressuposto supracitado, o meio (S) que possui pH ácido inicial e diluição apresentou menor quantidade microbiana em sua composição e será utilizado nas etapas subsequentes do presente trabalho.

5.8. AVALIAÇÃO DO BIOINOCULANTE EM VASOS COM SUBSTRATO COMERCIAL

Na tabela 5.5 estão a quantidade de sementes crescidas por dia e por espécie, ademais, os dias de irrigação e os volumes aplicados estão apresentados na Tabela 5.14. No dia 6, quando a maior parte das sementes germinaram, foram inseridos 3 mL do bioinoculante (S) e 2 mL de água destilada nos cultivos e 5 mL de água destilada nos controles.

Tabela 5.14 - Volumes de irrigação

Dia	Milho Híbrido e Crioulo	Feijão
1 (tempo 0h)	5 mL	5 mL
2	3 mL	3 mL
3	2 mL	2 mL
4	5 mL	8 mL
5	5 mL	5 mL
6	5 mL	5 mL
7	5 mL	5 mL

8	2 mL	2 mL
9	5 mL	5 mL
10	0 mL	0 mL
11	0 mL	0 mL
12	8 mL	8 mL
13	5 mL	5 mL

Fonte: Autor, 2026

Tabela 5.15 - Germinação por dia

Espécie	Milho Híbrido	Milho Crioulo	Feijão
Dia 4	2/10	1/10	0/10
Dia 5	8/10	5/10	1/10
Dia 6	9/10	7/10	4/10

Fonte: Autor, 2026

Nos casos em que não houve emergência das sementes de milho crioulo e feijão até o sétimo dia, estas foram substituídas, mantendo-se o substrato previamente inoculado com o bioinoculante, isto é, duas amostras de milho crioulo e quatro amostras de feijão foram substituídas, essas distribuídas entre os controles e os tratamentos. Esse procedimento teve como objetivo avaliar o efeito da presença prévia da bactéria no solo sobre a germinação e o desenvolvimento inicial das plantas, independentemente da aplicação direta do bioinoculante à semente e comparando com os controles deles que também sofreram troca.

Antes e depois da inoculação, o caule emergido das plântulas foi medido e os resultados estão dispostos nas tabelas 5.16, 5.17, 5.18, 5.19, 5.20 e 5.21.

Tabela 5.16 - Altura das plântulas de milho híbrido no tratamento (S)

Amostra	Dia 6 (cm)	Dia 7 (cm)	Dia 8 (cm)	Dia 9 (cm)
1	3,0	6,5	7,5	9,3
2	0,3	1,5	5,0	7,0
3	5,2	9,2	12,5	14,5
4	3,6	8,6	11,5	15,5
5	2,0	5,2	7,2	12,0

Fonte: Autor, 2026

Tabela 5.17 - Altura das plântulas de milho híbrido no controle (C)

Amostra	Dia 6 (cm)	Dia 7 (cm)	Dia 8 (cm)	Dia 9 (cm)
1	1,8	6,0	12,0	14,7
2	0	0	1,0	4,1
3	5,2	8,7	10,2	17,0
4	3,7	6,6	10,1	12,0
5	1,4	2,0	2,5	2,5

Fonte: Autor, 2026

Tabela 5.18 - Altura das plântulas de milho crioulo no tratamento (S)

Amostra	Dia 6 (cm)	Dia 7 (cm)	Dia 8 (cm)	Dia 9 (cm)
1	0	0	0	0
2	0	0	0,5	2,0

3	1,2	3,0	6,6	7,8
4	2,2	5,0	7,9	10,0
5	1,5	4,0	7,4	8,1

Fonte: Autor, 2026

Tabela 5.19 - Altura das plântulas de milho crioulo no controle (C)

Amostra	Dia 6 (cm)	Dia 7 (cm)	Dia 8 (cm)	Dia 9 (cm)
1	0	0	0	0
2	2,0	5,4	10,0	11,5
3	3,5	7,8	11,5	15,3
4	2,0	3,3	6,4	6,5
5	0,5	1,5	3,0	4,0

Fonte: Autor, 2026

Tabela 5.20 - Altura das plântulas de feijão no tratamento (S)

Amostra	Dia 6 (cm)	Dia 7 (cm)	Dia 8 (cm)	Dia 9 (cm)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	1,0	4,5	16,0	22,2
4	0,2	0,3	0,4	1,0
5	1,5	6,5	21,5	28,0

Fonte: Autor, 2026

Tabela 5.21 - Altura das plântulas de feijão no controle (C)

Amostra	Dia 6 (cm)	Dia 7 (cm)	Dia 8 (cm)	Dia 9 (cm)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	1,0
4	0,6	2,0	4,0	8,5
5	3,3	7,0	12,0	15,7

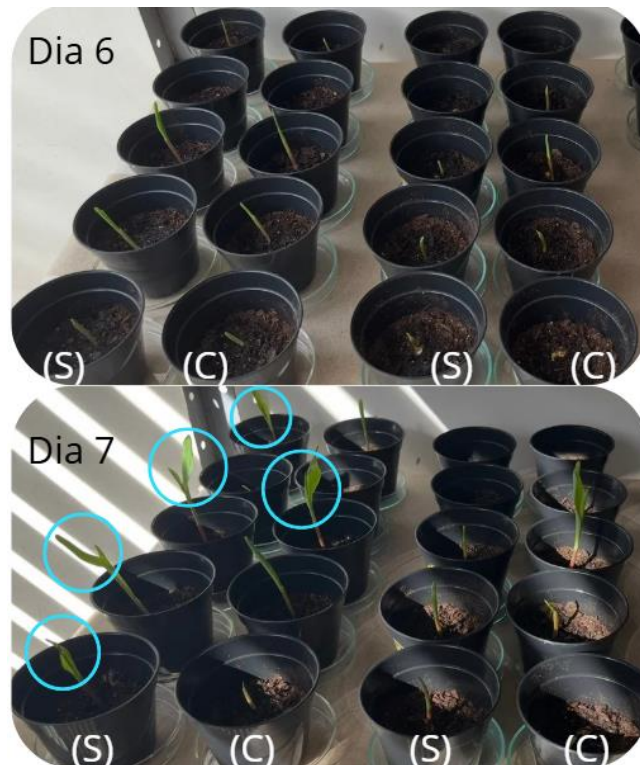
Fonte: Autor, 2026

Para as plântulas de milho híbrido, após 24h da aplicação do bioinoculante foi possível perceber que 4/5 das amostras apresentaram início de formação foliar enquanto no controle do mesmo apenas 1/5 das amostras possuiu emergência de folhas, isto é, amostras com bioinoculante apresentam um maior desenvolvimento fisiológico e metabolismo mais ativo e organizado, fato que justifica a aceleração da transição da fase de plântula para a fase vegetativa.

Para o milho crioulo, nas primeiras 24h de inoculação apenas 1/5 das amostras do controle foi capaz de emergir folhas, entretanto, ela possuía um tamanho superior às demais sementes quando o inoculante microbiano foi adicionado, ou seja, as demais amostras ainda não tinham atingido o limiar fisiológico necessário para formação de folhas

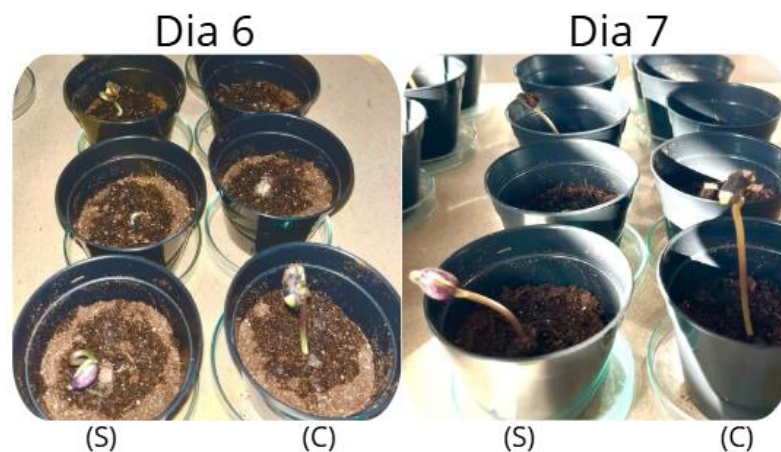
As plântulas de feijão que emergiram após a inoculação apresentaram maior crescimento quando comparadas às do controle, evidenciando um efeito positivo inicial do bioinoculante.

Figura 5.31 - Formação foliar das plântulas de milho



Fonte: Autor, 2026

Figura 5.32 - Emergência das plântulas de feijão



Fonte: Autor, 2026

Para os dias 8 e 9, o crescimento em altura das plântulas tornou-se mais evidente e consistente. As amostras cultivadas em solo previamente inoculado apresentaram maior altura, com folhas mais alongadas e melhor desenvolvimento da

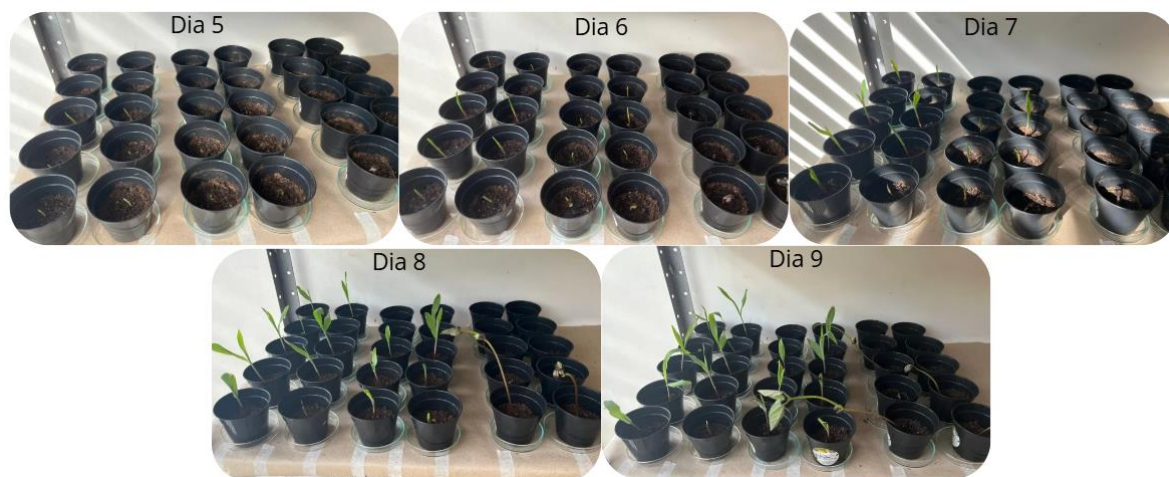
parte aérea. Esse padrão foi observado de forma contínua entre os dois dias, indicando manutenção do crescimento após a resposta inicial à inoculação.

Nos controles, o crescimento também ocorreu, porém de forma mais lenta e irregular, com maior variação entre indivíduos e menor ganho médio de altura. Enquanto algumas plântulas alcançaram alturas comparáveis, outras permaneceram com desenvolvimento reduzido, resultando em menor uniformidade do conjunto.

Ao analisar separadamente as sementes, nota-se que as amostras de milho híbrido apresentaram formação foliar maior e mais organizada do que a encontrada nos controles. Para o milho crioulo, ele apresentou crescimento mais uniforme para os vasos com tratamento. Por fim, para o feijão, as sementes emergidas que continham bactéria apresentaram formação foliar, característica não encontrada nos controles dele.

A diferença entre os tratamentos foi especialmente nítida nesse período de início da formação foliar, quando o efeito do solo inoculado se consolidou visualmente e nas medições de altura.

Figura 5.33 - Avaliação do crescimento das plântulas



Fonte: Autor, 2026

No 10º e 11º dias de experimento não foi realizada irrigação, em decorrência do aparecimento de manchas escuras em algumas folhas, tanto nos controles quanto nos tratamentos. Esse fenômeno pode estar associado à hipóxia no solo, possivelmente causada pela elevada retenção de água pelo substrato ao longo do experimento.

Ressalta-se que essas lesões tendem a ser irreversíveis nos tecidos já afetados. Entretanto, foi verificado o desenvolvimento de novas folhas com aspecto saudável, indicando que as plantas mantiveram sua capacidade de crescimento após o ajuste das condições de irrigação, sugerindo recuperação fisiológica do estresse previamente sofrido.

Figura 5.34 - Manchas nas folhas



Fonte: Autor, 2026

Após passarem por estresse hídrico associado a falta de irrigação, observou-se que as formações foliares presentes nos cultivos, se retraíram. Quando a irrigação do dia 13 foi realizada, nas primeiras três horas já foi possível perceber uma recuperação mais eficaz nas sementes de feijão que possuíam à TB3 em seu solo. Nos demais cultivos, também se destacaram os substratos com bactéria inoculada.

Figura 5.35 - Retração foliar da semente de feijão em tratamento (S)



Fonte: Autor, 2026

Também foi possível observar que todos os cultivos que continham bactéria foram capazes de se reestabelecerem após a irrigação, isto é, os caules e as folhas

que apresentavam tombamento inicial reestabeleceram-se rapidamente, esse comportamento que não foi observado uniformemente nos controles (C).

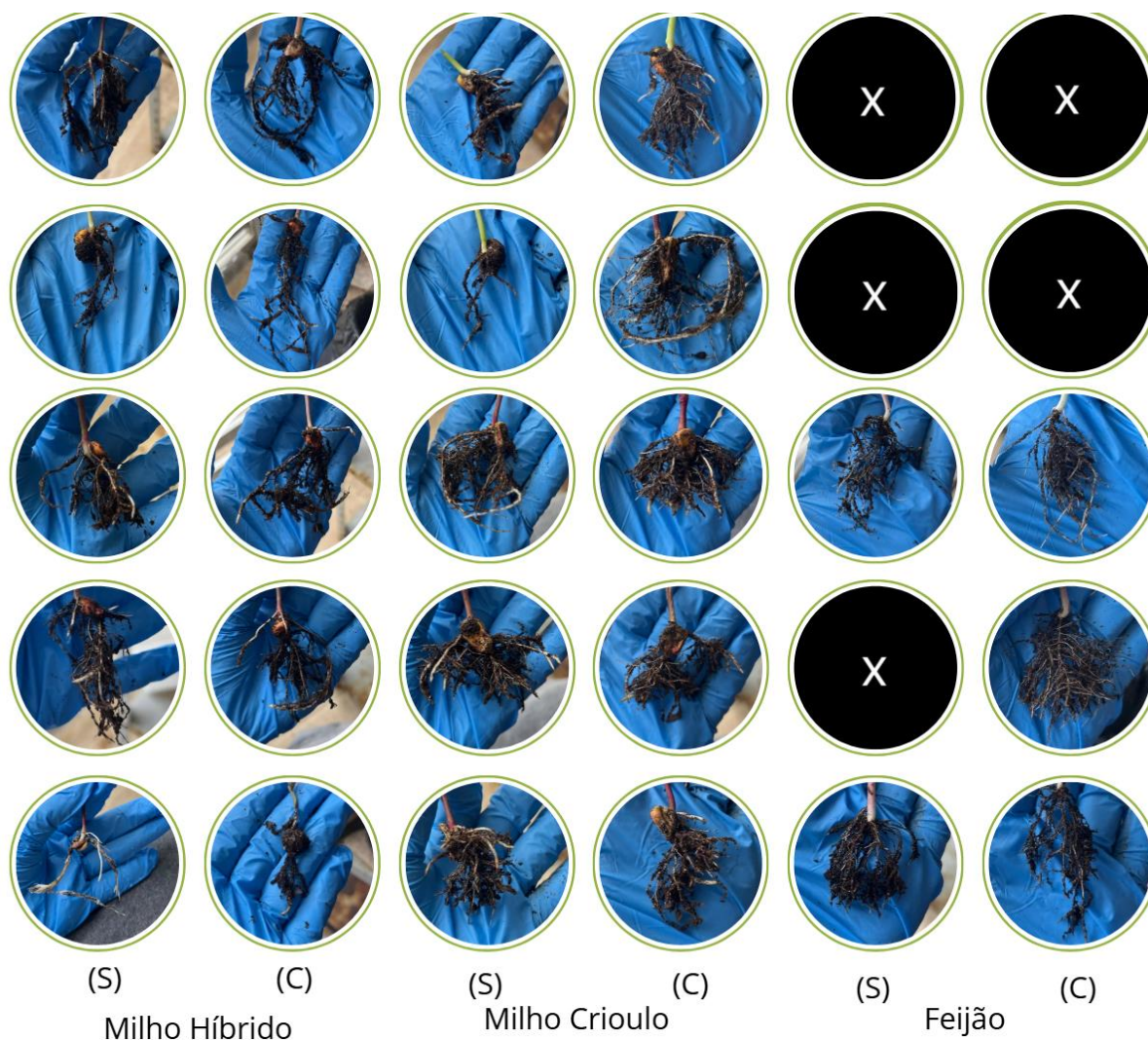
Figura 5.36 - Retração foliar dos cultivos com milho híbrido e crioulo



Fonte: Autor, 2026

Na imagem 5.37 pode-se observar o crescimento radicular no décimo quarto dia.

Figura 5.37 - Crescimento radicular



Fonte: Autor, 2026

Para o milho híbrido, no controle (C) o sistema radicular é mais simples e curto, com menor volume total de raízes, embora a diferença seja menos evidente é possível observar no tratamento (S) um maior número de raízes secundárias, com maior número de ramificações e distribuição radicular.

Para o milho crioulo, em (C) as raízes são mais curtas e concentradas, com menor número de raízes laterais, denotando um sistema mais aberto, em (S) é possível observar um aumento da densidade radicular, com mais raízes laterais e raiz principal mais curta, entretanto, muito ramificada.

Para o feijão, o controle obteve raízes mais longas com pouca ramificação e sistema radicular mais fino e frágil, nos sistemas com tratamento (S) as raízes ramificadas são mais densas com melhor formação de raízes laterais.

O efeito observado do bioinoculante indica um favorecimento em ramificação e volume, não em comprimento. Ademais, crescimentos que se destacaram em arquitetura do sistema radicular após uso do bioinoculante foram as culturas milho crioulo e o feijão.

Para as amostras que foram substituídas no dia 7, as sementes de feijão não apresentaram crescimento, provavelmente ocasionado por falhas na irrigação. Entretanto, as sementes substituídas de milho crioulo apresentaram diferenças visíveis quando comparadas. Ao inserir a semente em um solo contendo a TB3 ocorreu a presença de raízes mais encorpadas, raízes laterais finas, saindo da região próxima à semente e, visualmente, o conjunto radicular é mais “espalhado”. Para a semente que foi adicionada a um substrato contendo previamente apenas água destilada há predomínio de poucas raízes principais com menor emissão de raízes laterais e raízes menos encorpadas. Esse aspecto é apresentado na figura 5.38.

Figura 5.38 - Crescimento radicular



Fonte: Autor, 2026

Considerando plântulas de milho híbrido com 7 dias de crescimento, o cultivo em solo previamente colonizado por microrganismos apresentou sistema radicular mais

robusto, com maior espessura das raízes, indicando melhor estabelecimento inicial quando comparado ao cultivo em solo contendo apenas água.

6. CONCLUSÃO

O repique de manutenção dos isolados da rizosfera do tamboril permitiu a preservação e viabilidade das culturas bacterianas ao longo do trabalho, possibilitando a seleção e caracterização funcional da bactéria TB3 como microrganismo promotor de crescimento vegetal. A TB3 demonstrou capacidade de solubilizar fosfatos, fixar nitrogênio e produzir ácido indol-3-acético (AIA), indicando potencial para favorecer a disponibilidade de nutrientes e o desenvolvimento vegetal. A comparação da cinética de crescimento demonstrou que o meio à base de suco de melancia apresentou desempenho superior ao caldo nutriente, evidenciado por maiores valores de absorbância e maior produção de biomassa. A avaliação dos fatores experimentais indicou que o crescimento celular foi favorecido em pH neutro, menores concentrações de açúcares e temperaturas mais baixas, enquanto a produção de AIA apresentou aumento em condições de pH mais básico e redução com elevação da concentração de açúcares e da temperatura.

Os ensaios realizados com meios formulados a partir da fração líquida e sólida da casca de melancia também evidenciaram crescimento microbiano, demonstrando a viabilidade do aproveitamento desse resíduo como substrato alternativo para cultivo da bactéria TB3. Nos testes de aplicação como bioinsumo, verificou-se que o uso do bioinoculante contribuiu para o desenvolvimento fisiológico das plantas, com maior ramificação radicular, maior volume do sistema radicular e maior resistência ao estresse hídrico, especialmente em milho crioulo e feijão. Dessa forma, os resultados indicam que a TB3 possui potencial para utilização como bioinoculante agrícola, e que meios alternativos formulados a partir de suco e casca de melancia representam uma alternativa sustentável para o cultivo de microrganismos promotores de crescimento vegetal.

REFERÊNCIAS

ADEMILSON JESUS SILVA; MILTON MARQUES FERNANDES; CASSANDRA MENDONÇA OLIVEIRA; DENIVER DEHUEL SOUZA OLIVEIRA; BRENO CORREIA CRUZ SANTOS; MÁRCIA RODRIGUES DE MOURA FERNANDES.

Desenvolvimento de *Enterolobium contortisiliquum* e *Mimosa caesalpiniiifolia* inoculadas com *Azospirillum brasiliense* em área degradada por mineração. *Acta Biológica Catarinense*, v. 8, n. 4, p. 43–49, 2021. DOI: 10.21726/abc.v8i4.1647. Disponível em: <https://periodicos.univille.br/ABC/article/view/1647>. Acesso em: 26 out. 2025.

ANTONIO TARCISIO DA SILVA QUEIROZ; BRUNO COSTA DE OLIVEIRA. Ação de microrganismos promotores do crescimento de plantas: uma revisão sistemática da literatura. *Revista PsiPro / PsiPro Journal*, v. 2, n. 5, p. 98–112, 2023. DOI: 10.5281/. Disponível em: <http://www.revistapsipro.com.br/index.php/psipro/article/view/75>. Acesso em: 26 out. 2025.

ARAUJO, Helder F. P. de et al. The Caatinga region is a system and not an aggregate. *Journal of Arid Environments*, v. 203, p. 104778, 2022.

AWOGBEMI, Omojola; KALLON, Daramy Vandi Von. Valorization of agricultural wastes for biofuel applications. *Heliyon*, v. 8, n. 10, p. e11117, 2022. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e11117. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11117>.

BARROS, F. B. et al. Phytochemical prospection, hemagglutinating and insecticidal activity of saline extracts from the seeds of Tamboril (*Enterolobium contortisiliquum*) Vell. Morong (Fabaceae) on *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Brazilian Journal of Biology*, v. 83, p. e274635, 2023.

BASTOS, Leydiane Mateus. Resposta da comunidade bacteriana na rizosfera de milho à aplicação de nitrogênio. 2023.

BEZERRA, J. J. L.; PINHEIRO, A. A. V.; LUCENA, R. B. Phytochemistry and poisoning in ruminants by *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae): a systematic review. *Toxicon*, v. 201, p. 46-53, 2021.

BOURSCHEIDT, M. L. B., PEDREIRA, B. C., PEREIRA, D. H., ZANETTE, M. C., DEVENS, J. Estratégias de fornecimento de nitrogênio em pastagens: fertilizante mineral, inoculante bacteriano e consórcio com amendoim forrageiro. Scientific Electronic Archives, v. 12, p. 137-147, 2019.

BRASIL ECOLÓGICA (@brasilecologica). Conheça a Tamboril (Enterolobium contortisiliquum). Instagram, 4 jan. 2025. Disponível em: <https://www.instagram.com/p/DEaoZtsPhfW/>. Acesso em: 05 mar. 2026.

BUENO, Deyvid. Rizosfera e o impacto em planta-microrganismo para produtividade. Agrotécnico, 29 jun. 2025. Disponível em: <https://agrotecnico.com.br/rizosfera-produtividade-agricola/>. Acesso em: 5 mar. 2026.

CHIMINI, Ana Claudia et al. Utilização de resíduo de cervejaria como substrato alternativo para a produção de Ganoderma lucidum. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v. 14, n. 2, p. 483-492, 2021.

CHUI, Michael et al. The bio revolution: Innovations transforming economies, societies, and our lives. In: Augmented Education in the Global Age. Routledge, 2023. p. 48-74.

COSTA, Lavínia Aris de Souza; EMRICH, Eduardo Bucsan; GOMES, Francisco Augusto. UTILIZAÇÃO DE BIOFERTILIZANTE LÍQUIDO NO CULTIVO DE ALFACE CRESPA. 2021.

DEMARTELAERE, Andrea Celina Ferreira et al. Revisão bibliográfica: impactos em áreas nativas da caatinga causadas pelas atividades econômicas e as técnicas de reflorestamento. Brazilian Journal of Development, v. 8, n. 4, p. 25285-25306, 2022.

DINIS, Calton João et al. Produção de biocarvão a partir de resíduos de casca de banana e melancia: um estudo sobre carbonização hidrotérmica e pirólise assistida por micro-ondas. 2025.

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

DUQUE-ACEVEDO, Mónica; BELMONTE-UREÑA, Luis J.; CORTÉS-GARCÍA, Francisco Joaquín; CAMACHO-FERRE, Francisco. Agricultural waste: Review of the evolution, approaches and perspectives on alternative uses. *Global Ecology and Conservation*, v. 22, 2020. DOI: 10.1016/j.gecco.2020.e00902. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00902>.

FLORES-GALLEGOS, Adriana C.; NAVA-REYNA, Erika. Enzimas microbianas promotoras de crescimento de plantas. In: *Enzimas em biotecnologia alimentar*. Imprensa Acadêmica, 2019. p. 521-534.

GAYLARDE, Christine C.; DA FONSECA, Estefan M. Biofertilization and Bioremediation—How Can Microbiological Technology Assist the Ecological Crisis in Developing Countries?. In: *Micro*. MDPI, 2025. p. 18.

GOMES, Tamiris. Por que reativar a rizosfera é essencial para o solo e para a planta. *Solusolo*. Disponível em: <https://solusolo.com.br/por-que-reativar-a-rizosfera-e-essencial-para-o-solo-e-para-a-planta/>. Acesso em: 05 mar. 2026.

GOMMIDES, Larissa Lorryne Rodrigues. ISOLAMENTO DE RIZOBACTÉRIAS PROMOTORAS DO CRESCIMENTO DE PLANTAS (RPCP) EM CANA-DE-AÇÚCAR. 2022.

GORDON, S. A.; WEBER, R. P. Colorimetric estimation of indoleacetic acid. *Plant Physiology*, v. 26, n. 1, p. 192–195, 1951. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.26.1.192>. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2440165>. Acesso em: 10 mar. 2026.

GUO, Xiu Juan; WANG, Shu Rong; WANG, Kai Ge; LIU, Qian; LUO, Zhong Yang. Influence of the extractives on mechanism of biomass pyrolysis. *Ranliao Huaxue Xuebao/Journal of Fuel Chemistry and Technology*, v. 38, n. 1, p. 42-46, 2010. DOI: 10.1016/S1872-5813(10)60019-9. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1872-5813\(10\)60019-9](https://doi.org/10.1016/S1872-5813(10)60019-9)

HERMANN-BANDERA, Aniéli Altmeyer et al. Rizosfera no sistema de plantio direto de hortaliças: uma revisão narrativa. *OPEN SCIENCE RESEARCH VIII*, v. 8, p. 60-73, 2022.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico químicos para análises de alimentos. 4ª ed. (1ª Edição digital), 2008. 1020 p.

JESUS, Laís R. et al. ESTUDO DA AÇÃO TÓXICA DE EXTRATOS DE FOLHAS DE *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (LEGUMINOSAE). 2024.

KAVAMURA, V.N.; SANTOS, S.N.; SILVA, J.L.; PARMA, M M.; AVILA, L A. Screening of Brazilian cacti rhizobacteria for plant growth promotion under drought. *Microbiological Research*, v. 168, p. 183-191, 2013.

KHAN, Hassan Ahmed; YOUSAF, Anam; YOUNAS, Tayyaba. Isolation of plant growth promoting bacteria from the rhizosphere of different plants and assessment of their plant growth promotion potential. *Pakistan BioMedical Journal*, v. 3, n. 1, 2017. DOI: <https://doi.org/10.52229/pbmj.v3i1.5>.

LANG, Qianqian et al. Hydrochar reduces oxytetracycline in soil and Chinese cabbage by altering soil properties, shifting microbial community structure and promoting microbial metabolism. *Chemosphere*, v. 338, n. July, p. 139578, 2023. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2023.139578. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139578>.

LI, E.; MIRA DE ORDUÑA, R. A rapid method for the determination of microbial biomass by dry weight using a moisture analyser with an infrared heating source and an analytical balance. *Letters in Applied Microbiology*, v. 50, n. 3, p. 283–288, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2009.02789.x>.

LIMA, Aliny Alencar de et al. Produção de jambu em ambiente protegido influenciada por mudas produzidas com substrato alternativo. *Scientia Naturalis*, v. 3, n. 5, 2021.

LORENZI, H. 2020. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil 8ª ed. Nova Odessa: Plantarum. 385 p.

MANDIZVO, T. et al. Potencial da melancia cidra para melhorar a diversificação das culturas e reduzir os impactos negativos das mudanças climáticas. *Sustentabilidade*, v. 13, n. 4, p. 2269, 2021.

MELO, Janieli de Oliveira et al. A Caatinga: Um bioma exclusivamente brasileiro. *Ciência e Cultura*, v. 75, n. 4, p. 01-09, 2023.

MENDES, K. R.; OLIVEIRA, P. E. S.; ROMUALDO, J. et al. The caatinga dry tropical forest: A highly efficient carbon sink in South America. *Agricultural and Forest*

Meteorology, 2025;369:110573-110573. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2025.110573>.

MILES, A. A.; MISRA, S. S.; IRWIN, J. O. The estimation of the bactericidal power of the blood. *The Journal of Hygiene*, v. 38, n. 6, p. 732–749, 1938. DOI:
<https://doi.org/10.1017/S002217240001158X>. Disponível em:
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2199673/>. Acesso em: 10 mar. 2026.

MORAES, Egídia Andrade. Cultivo da microalga *Chlorella vulgaris* em efluente industrial, como meio alternativo, para produção de biomassa visando obtenção de energia verde. 2023. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Pesca) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

OLIVEIRA BASTOS, Adriene; DOS SANTOS, Cassio Rafael Costa; SHIBATA, Marília. Resíduo de açaí como substrato alternativo para paricá. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 16, n. 3, p. 1-18, 2023.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A. et al. Microrganismos promotores de crescimento vegetal em cana-de-açúcar e outras gramíneas. 2024.

PARRALES, Y. R.; CABEZAS, V. G.; ALVARADO, D. D.; CASTRO, O. M.; SÁNCHEZ, Álvaro G. Desempenho agrônômico da cultura de arroz *Oryza sativa* sob irrigação com aplicação de MPC, microrganismos promotores de crescimento e hormônios vegetais na área de Babahoyo / Agronomic performance of *Oryza sativa* rice crop under irrigation with the application of MPC, growth-promoting microorganisms and plant hormones in the Babahoyo area. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 5, n. 1, p. 921–938, 2022. DOI:
10.34188/bjaerv5n1-069. Disponível em:
<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/44770>. Acesso em: 26 out. 2025.

PAVINATO, P. S.; SOLTANGHEIS, A.; ROCHA, G. C.; CHERUBIN, M. R. Acúmulo de fósforo no solo em áreas agrícolas no Brasil: Diagnóstico atual e Potencialidades Futuras. *Informações Agronômicas (NPCT)*, n. 9, 56 p., 2021.

PEREIRA, Elisa Bandeira. Inoculante microbiológico e desenvolvimento inicial de plantas de milho sob déficit hídrico. 40 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual do Piauí, Uruçuí, 2025.

PORTO, E. M. V.; AMARO, H. T. R.; ALVES, D. D.; ANDRADE, W. R.; RUFINO, L. D. A.; GOMES, V. M. O capim Andropogon. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 43(317), p. 26-36, 2022.

PROJETO MAPBIOMAS ALERTA. Sistema de Validação e Refinamento de Alertas de Desmatamento com Imagens de Alta Resolução. Disponível em: <https://plataforma.alerta.mapbiomas.org/>. Acesso em: 05 mar. 2026.

RAIMAM, Milena Pupo; DA SILVA, Lucas Leite. A complexa e dinâmica rede de respostas químicas na rizosfera. In: CIÊNCIAS AGRÁRIAS: LIMITES E POTENCIALIDADES EM PESQUISA-VOLUME 2. Editora Científica Digital, 2023. p. 12-28.

RICARTE ROSTIROLLA, B. D. Evaluación de parámetros para La producción de biomateriales alternativos al cuero por fermentación sólida y líquida (Trabajo final de carrera). Universidad ORT Uruguay, Facultad de Ingeniería, 2023. Recuperado de: <https://rad.ort.edu.uy/handle/20.500.11968/6563>.

SCIENCEDIRECT. Rhizosphere. ScienceDirect Topics. Elsevier. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/rhizosphere>. Acesso em: 5 mar. 2026.

SILVA, Andresa Paula da; DOURADO, Manuella Nóbrega. Mecanismos de promoção de crescimento vegetal por bactérias endofíticas. Iniciação Científica Cesumar, Maringá, v. 24, n. 1, e10776, jan./jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9192.2022v24n1e10776>.

SILVA1, Francisco A. et al. ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO UTILIZANDO CARVÃO ATIVADO PREPARADO A PARTIR DA CASCA DO TAMBORIL (Enterolobium contortisiliquum). Química Nova, v. 47, n. 3, p. e-20230106, 2024.

SILVA2, Kelina Bernardo; PINTO, Maria do Socorro de Caldas; OLIVEIRA, Moises Dantas de; LIMA, Danielle Daísia de. Aspectos biométricos de frutos e sementes de Enterolobium contortisiliquum (Vell) Morong provenientes do semiárido paraibano.

Acta Biológica Catarinense, v. 11, n. 1, p. 62–68, 2024. DOI:

10.21726/abc.v11i1.2177. Disponível em:

<https://periodicos.univille.br/ABC/article/view/2177>. Acesso em: 26 out. 2025.

SILVA³, Débora Magalhães de Souza et al. Doce da casca de melancia::

Aproveitamento de subprodutos. Boletim Técnico IFTM, v. 10, n. único, 2024.

SILVA, C. F.; SILVA, E. C. Rizosfera no sistema de plantio direto de hortaliças: uma revisão narrativa. In: EDITORA CIENTÍFICA DIGITAL (org.). Open Science

Research VIII. Guarujá: Editora Científica Digital, 2022. p. 59–72. DOI:

10.37885/978-65-5360-234-2. Disponível em:

<https://downloads.editoracientifica.com.br/books/978-65-5360-234-2.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2026.

STEVENSON, Keiran; MCVEY, Alexander F.; CLARK, Ivan B. N.; SWAIN, Peter S.; PILIZOTA, Teuta. General calibration of microbial growth in microplate readers.

Scientific Reports, v. 6, art. 38828, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep38828>.

Disponível em: <https://www.nature.com/articles/srep38828>. Acesso em: 10 mar. 2026.

SYLVESTER-BRADLEY, R.; ASKAWA, N.; LATORRACA, S.; MAGALHÃES, F. M.

M.; OLIVEIRA, L. A.; PEREIRA, R. M. Levantamento quantitativo de microrganismos solubilizadores de fosfato na rizosfera de gramíneas e leguminosas forrageiras na Amazônia. *Acta Amazonica*, Manaus, v.12, n.1, p.12-22, 1982.

UPADHYAY, Sudhir K. et al. Root exudates: Mechanistic insight of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable crop production. *Frontiers in Microbiology*, v. 13, 2022.

VIEIRA, Áquila Filipi Silva. Utilização do lodo de esgoto como substrato alternativo na produção de mudas de *Cedrela fissilis* VELL. 2022.

ZIA, Sania; KHAN, Moazzam Rafiq; SHABBIR, Muhammad Asim; AADIL, Rana Muhammad. An update on functional, nutraceutical and industrial applications of watermelon by-products: A comprehensive review. *Trends in Food Science and Technology*, v. 114, n. June, p. 275-291, 2021. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.05.039.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.039>.