



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE BELO JARDIM
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA HÍDRICA

GABRIEL OLIVEIRA DE MENÊZES

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ANTIBACTERIANO DA *EUPHORBIA TIRUCALLI*
NA INATIVAÇÃO DE COLIFORMES TOTAIS E *ESCHERICHIA COLI* EM ÁGUAS
POTENCIALMENTE CONTAMINADAS**

Belo Jardim

2026

GABRIEL OLIVEIRA DE MENÊZES

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ANTIBACTERIANO DA *EUPHORBIA TIRUCALLI*
NA INATIVAÇÃO DE COLIFORMES TOTAIS E *ESCHERICHIA COLI* EM ÁGUAS
POTENCIALMENTE CONTAMINADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Bacharelado em
Engenharia Hídrica da Universidade
Federal Rural de Pernambuco, como
requisito parcial para obtenção do título
Bacharel em Engenharia Hídrica.

Orientador (a): Juliana Chagas Rodrigues

Belo Jardim

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Nubia Matos – CRB-4 2234

M541a Menêzes, Gabriel Oliveira de.

Avaliação do potencial antibacteriano da *Euphorbia tirucalli* na inativação de coliformes totais e *Escherichia coli* em águas potencialmente contaminadas / Gabriel Oliveira de Menêzes. – Belo Jardim, 2026.

71 f.; il.

Orientador(a): Juliana Chagas Rodrigues.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Belo Jardim - UABJ, Bacharelado em Engenharia Hídrica, Belo Jardim, BR-PE, 2026.

Inclui referências.

1. *Euphorbia tirucalli*. 2. Inativação bacteriana. 3. *Escherichia coli*. 4. Espectrofotometria 5. Desinfecção microbiológica. I. Rodrigues, Juliana Chagas, orient. II. Título

CDD 627

GABRIEL OLIVEIRA DE MENÊZES

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ANTIBACTERIANO DA *EUPHORBIA TIRUCALLI*
NA INATIVAÇÃO DE COLIFORMES TOTAIS E *ESCHERICHIA COLI* EM ÁGUAS
POTENCIALMENTE CONTAMINADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Bacharelado em
Engenharia Hídrica da Universidade
Federal Rural de Pernambuco, como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Hídrica.

Aprovado em: 03/06/2026

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Juliana Chagas Rodrigues (Orientadora)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. João Pedro Ferreira (Examinador Interno)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. José Roberto Lopes da Silva (Examinador Interno)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família pelo apoio, incentivo e compreensão ao longo de toda esta trajetória acadêmica.

À minha orientadora, Profa. Dra. Juliana Chagas Rodrigues, pela dedicação, paciência e valiosa contribuição durante a realização dos experimentos e desenvolvimento desta pesquisa.

Aos meus amigos pelos apoios e motivações nos momentos mais desafiadores desta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela força, sabedoria e perseverança concedidas ao longo desta trajetória acadêmica.

À minha família, por todo o apoio, incentivo, compreensão e confiança depositados em mim durante esta caminhada, sendo fundamental em todos os momentos de dificuldade e superação.

Aos meus amigos, pelo companheirismo, incentivo e apoio emocional ao longo desta jornada, tornando essa etapa mais leve e motivadora.

À minha orientadora, Profa. Dra. Juliana Chagas Rodrigues, pela dedicação, paciência, orientação e valiosas contribuições durante o desenvolvimento deste trabalho, especialmente no acompanhamento dos experimentos e na construção desta pesquisa.

À universidade, pela disponibilização da estrutura e do laboratório utilizados para a realização dos experimentos, proporcionando os recursos necessários para o desenvolvimento deste estudo.

Aos professores e profissionais que contribuíram direta ou indiretamente para minha formação acadêmica e para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma, colaboraram para a concretização desta pesquisa e para a conclusão desta importante etapa da minha vida acadêmica.

Obrigado a todos (as)!

“Não se perde nada com a paz. Mas tudo pode ser perdido com a guerra”.

Papa Pio XII

“ Na paz, prepare-se para a guerra; na guerra, prepare-se para a paz”

Sun Tzu VI a.C

RESUMO

O descarte inadequado de efluentes brutos nos recursos hídricos representa um importante problema ambiental e de saúde pública, evidenciando a necessidade de alternativas sustentáveis para a desinfecção microbiológica. Este estudo avaliou o potencial antibacteriano de compostos à base de *Euphorbia tirucalli* (Aveloz) na inativação de coliformes totais e *Escherichia coli* em águas superficiais potencialmente contaminadas por efluentes, coletadas no município de Belo Jardim – PE. Foram formulados extratos utilizando água destilada e etanol 99,5% como solventes, empregando material vegetal fresco e seco nas concentrações de 25%, 50%, 75% e 100%. Os tratamentos foram avaliados em triplicata por meio de espectrofotometria para determinação da absorbância e microscopia óptica com coloração de Gram. Os extratos aquosos não apresentaram atividade antibacteriana comprovada, favorecendo o crescimento microbiano durante os ensaios. Em contrapartida, os extratos etanólicos promoveram redução significativa da carga bacteriana, destacando-se o tratamento contendo *Euphorbia tirucalli* na concentração de 75%, que apresentou elevada atividade antibacteriana. Além disso, foi observada elevada correlação entre absorbância e densidade microbiana ($R^2 = 0,9579$), confirmando a espectrofotometria como método indireto para o monitoramento do crescimento bacteriano. Conclui-se que a *Euphorbia tirucalli* apresenta potencial como agente antimicrobiano complementar para a desinfecção microbiológica de águas potencialmente contaminadas por efluentes, sendo necessários estudos adicionais para isolar os compostos bioativos, avaliar sua toxicidade, estabilidade química e viabilidade de aplicação em escala operacional.

Palavras-chave: *Euphorbia tirucalli*, Inativação bacteriana, *Escherichia coli*, Espectrofotometria, Desinfecção microbiológica.

ABSTRACT

The improper discharge of raw effluents into water resources represents a major environmental and public health concern, highlighting the need for sustainable alternatives for microbiological disinfection. This study evaluated the antibacterial potential of compounds derived from *Euphorbia tirucalli* (Aveloz) for the inactivation of total coliforms and *Escherichia coli* in surface waters potentially contaminated by effluents, collected in the municipality of Belo Jardim, Pernambuco, Brazil. Extracts were prepared using distilled water and 99.5% ethanol as solvents, employing both fresh and dried plant material at concentrations of 25%, 50%, 75%, and 100%. All treatments were performed in triplicate and evaluated by spectrophotometry to determine absorbance and by optical microscopy using Gram staining. The aqueous extracts showed no confirmed antibacterial activity and promoted microbial growth during the assays. In contrast, the ethanolic extracts significantly reduced the bacterial load, with the 75% *Euphorbia tirucalli* treatment showing the highest antibacterial activity. Furthermore, a strong correlation was observed between absorbance and microbial density ($R^2 = 0.9579$), confirming spectrophotometry as an indirect method for monitoring bacterial growth. The findings indicate that *Euphorbia tirucalli* has potential as a complementary antimicrobial agent for the microbiological disinfection of surface waters potentially contaminated by effluents. However, further studies are required to isolate its bioactive compounds and evaluate their toxicity, chemical stability, and feasibility for full-scale application.

Keywords: *Euphorbia tirucalli*, Bacterial inactivation, *Escherichia coli*, Spectrophotometry, Microbiological disinfection.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Localização do ponto de coleta no município de Belo Jardim, PE	23
Figura 2. Local do ponto de coleta das amostras de água com potencial contaminação por efluentes	24
Figura 3. Mapa de localização do ponto de coleta das amostras de <i>Euphorbia tirucalli</i>	26
Figura 4. Aveloz coletado <i>in natura</i>	27
Figura 5. Maceração de <i>Euphorbia tirucalli</i> em ambiente laboratorial	28
Figura 6. Processo de secagem do aveloz e maceração	29
Figura 7. Extração dos compostos de aveloz em laboratório	30
Figura 8. Condições de armazenamento dos compostos de aveloz	30
Figura 9. Monitoramento das variáveis físico-químicas dos compostos de aveloz	31
Figura 10. Condição visual dos extratos produzidos ao longo do período de armazenamento	32
Figura 11. Inoculação em placas Compact Dry e incubação para desenvolvimento de colônias	34
Figura 12. Análises de microscopia para a visualização de bactérias gram positivas/negativas	36
Figura 13. Esquema ilustrativo de cronologia das análises espectrofotométricas	39
Figura 14. Espectrofotômetro utilizado para medição das absorbâncias nos tratamentos	39
Figura 15. Culturas microbiológicas submetidas a diferentes tratamentos	41
Figura 16. Placas com inóculos submetidos ao tratamento com extrato de aveloz (<i>Euphorbia tirucalli</i>) <i>in natura</i> em água destilada e etanol 99,5% em amostras de águas superficiais sob influência de efluentes	48
Figura 17. Placas com inóculos de águas superficiais sob influência de efluentes submetidos ao tratamento com extrato de aveloz (<i>Euphorbia tirucalli</i>) seco em água destilada e etanol 99,5%.	48
Figura 18. Amostras de placas com extrato de aveloz <i>in natura</i> e seca em água destilada e etanol 99,5% para microscopia com coloração de Gram, incluindo controle	50

Figura 19. Amostras de placas com extrato de aveloz <i>in natura</i> e seca em água destilada e etanol 99,5% para microscopia com coloração de Gram, incluindo controle	51
Figura 20. Amostras de microscopia coradas pelo método de Gram, referentes ao extrato de aveloz <i>in natura</i> e seca em água destilada e em etanol a 99,5%, incluindo controle	52
Figura 21. Amostras de microscopia coradas pelo método de Gram, referentes ao extrato de aveloz <i>in natura</i> e seca em água destilada e em etanol a 99,5%, incluindo controle	53
Figura 22. Relação entre a leitura espectrofotométrica (turbidez/absorbância) e a contagem de unidades formadoras de colônia (UFC), com apresentação da equação de regressão obtida	54
Figura 23. Gráfico de absorbância média com desvio padrão dos tratamentos utilizados	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Valores médios das propriedades físico-químicas durante o armazenamento dos extratos de <i>Euphorbia tirucalli in natura</i> e seca com água destilada	44
Tabela 2.	Valores médios das propriedades físico-químicas durante o armazenamento dos extratos de <i>Euphorbia tirucalli in natura</i> e seca com etanol 99,5%	45
Tabela 3.	Valores médios de absorbância encontrados na comparação entre os diferentes compostos de <i>Euphorbia tirucalli</i> e o hipoclorito	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	Análise de Variância
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DNA	Ácido desoxirribonucleico
E. coli	Escherichia coli
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
nm	nanômetro
PE	Pernambuco
RNA	Ácido ribonucleico
SNIS	Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento
UABJ	Unidade Acadêmica de Belo Jardim
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco
UFC	Unidades Formadoras de Colônia
EPI	Equipamento de Proteção Individual

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
g	Grama
mL	Mililitro
nm	Nanômetro
pH	Potencial hidrogeniônico
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez

Sumário

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	18
2.1 Geral	18
2.2 Específicos	18
3. REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1 Tratamento de efluentes, impacto ambiental e necessidade de desinfecção	19
3.2 Processos de tratamento e limitações da desinfecção convencional	19
3.3 Indicadores microbiológicos de contaminação em efluentes e corpos hídricos	20
3.4 Alternativas naturais com potencial antimicrobiano no tratamento de efluentes	21
4. MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1 Coleta de amostras de água superficial em área sob possível influência de efluentes	23
4.2 Procedimentos de coleta e preservação de <i>Euphorbia tirucalli</i> (aveloz)	25
4.3 Processamento e análise físico-química de extratos de <i>Euphorbia tirucalli</i> obtidos por diferentes métodos de extração	27
4.4 Potencial antibacteriano do composto à base de <i>Euphorbia tirucalli</i> em amostras de água potencialmente contaminadas	32
4.5 Atividade antibacteriana do composto à base de <i>Euphorbia tirucalli</i> por meio da contagem de UFC e da leitura espectrofotométrica (turbidez/absorbância)	36
4.6 Comparação da eficácia antibacteriana de compostos formulados à base de <i>Euphorbia tirucalli</i> e hipoclorito de sódio na desinfecção de águas superficiais potencialmente contaminadas por efluentes	40
4.7 Análise estatística	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1 Avaliação dos extratos de <i>Euphorbia tirucalli</i> (<i>in natura</i> e seco) utilizando água destilada e etanol, e de suas propriedades físico-químicas (pH, condutividade elétrica e turbidez)	43
5.2 Avaliação da atividade antibacteriana do composto à base de <i>Euphorbia tirucalli</i> frente a coliformes totais e <i>Escherichia coli</i> em águas superficiais potencialmente contaminadas por efluentes	47

5.3 Avaliação da atividade antibacteriana do composto à base de <i>Euphorbia tirucalli</i> por meio da contagem de Unidades Formadoras de Colônias (UFC) e da leitura espectrofotométrica (turbidez/absorbância).....	54
5.4 Comparação da eficácia antibacteriana de compostos formulados à base de <i>Euphorbia tirucalli</i> e hipoclorito de sódio na desinfecção águas superficiais e efluentes ..	58
6. CONCLUSÃO	60
REFERÊNCIAS.....	61

1. INTRODUÇÃO

A utilização adequada dos recursos hídricos e o tratamento eficiente de efluentes constituem desafios centrais da sociedade contemporânea, especialmente, diante do aumento da demanda por água e da intensificação da geração de resíduos líquidos provenientes de atividades domésticas e industriais. Nesse contexto, o desenvolvimento de tecnologias voltadas à remoção de contaminantes físicos, químicos e microbiológicos é essencial para a preservação da qualidade ambiental e da saúde pública (Pacheco et al., 2025; Torres, 2019).

No Brasil, embora haja avanços no setor de saneamento, dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022) indicam que apenas cerca de 52,2% dos efluentes gerados recebem algum tipo de tratamento. Além disso, observa-se forte desigualdade regional, com destaque para a região Sudeste (80,9%) e índices significativamente inferiores nas regiões Norte (14,7%) e Nordeste (31,4%). Dessa forma, o lançamento de efluentes sem tratamento adequado, pode resultar na contaminação de solos, corpos hídricos e organismos vivos, agravando problemas ambientais e sanitários (Beltrame et al., 2016).

Entre os principais contaminantes de interesse sanitário presentes em efluentes estão os microrganismos indicadores de contaminação fecal, especialmente, os coliformes totais e a bactéria *Escherichia coli*. Esses microrganismos são amplamente utilizados na avaliação da qualidade da água, uma vez que sua presença está associada a condições sanitárias inadequadas e ao risco de doenças de veiculação hídrica, como infecções gastrointestinais (Melo; Moraes; Martins, 2023). Certas cepas patogênicas de *E. coli*, como a O157:H7, apresentam elevada relevância clínica, podendo causar infecções graves, especialmente, em populações vulneráveis (Almeida, 2018; Martins, 2024).

Diante desse cenário, diferentes tecnologias de tratamento e desinfecção de efluentes têm sido empregadas, com destaque para processos biológicos e físico-químicos. Entre os métodos mais utilizados mundialmente, a cloração se destaca pela elevada eficiência na inativação bacteriana, embora ainda apresente limitações relacionadas à formação de subprodutos e impactos ambientais (Bernardi, 2019; Noé; Siliano, 2016). Assim, permanece a necessidade de desenvolvimento de alternativas complementares e sustentáveis para o tratamento microbiológico de efluentes (Queiroz et al., 2024).

Nesse contexto, o uso de compostos de origem vegetal com potencial antimicrobiano tem sido investigado como alternativa promissora. Entre essas espécies, destaca-se *Euphorbia tirucalli*, uma planta amplamente estudada por sua atividade biológica frente a diferentes microrganismos, incluindo bactérias de relevância sanitária (Betim et al., 2017; Machado, 2007). Seus extratos contêm compostos bioativos, como escopoletina e ácidos fenólicos, que estão associados à inibição do crescimento microbiano, incluindo *E. coli* (Carvalho-Castro et al., 2018; Teixeira et al., 2024).

Além de seu potencial antimicrobiano, *Euphorbia tirucalli* apresenta relevante potencial ambiental, podendo ser empregada em processos de fitorremediação, fitodessalinização e recuperação de áreas degradadas, bem como atuar como bioindicadora de contaminação ambiental da água, solo e ar (Gaspar et al., 2023; Wasim et al., 2025).

Dessa forma, o uso da *Euphorbia tirucalli* em aplicações voltadas ao tratamento de águas com potencial contaminação por efluentes, pode representar uma alternativa inovadora para processos de desinfecção hídrica.

Assim, considerando a necessidade de soluções sustentáveis para o controle microbiológico de águas potencialmente contaminadas com efluentes, este estudo propõe a avaliação do potencial antibacteriano de um composto à base de *Euphorbia tirucalli* na inativação de coliformes totais e *Escherichia coli*, visando contribuir para o desenvolvimento de métodos complementares aplicáveis ao tratamento de águas e ao saneamento ambiental.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

- Avaliar o potencial antibacteriano de um composto à base de *Euphorbia tirucalli* sobre coliformes totais e *Escherichia coli* presentes em águas potencialmente contaminadas por efluentes.

2.2 Específicos

- Formular extratos de *Euphorbia tirucalli* (*in natura* e seco) utilizando água destilada e etanol, e avaliar suas propriedades físico-químicas (pH, condutividade elétrica e turbidez) durante o armazenamento
- Avaliar o potencial antibacteriano de compostos à base de *Euphorbia tirucalli* sobre coliformes totais e *Escherichia coli* em amostras de água potencialmente contaminadas por efluentes
- Avaliar o potencial antibacteriano dos compostos à base de *Euphorbia tirucalli* por meio da contagem de Unidades Formadoras de Colônia (UFC) e da análise espectrofotométrica (turbidez/absorbância).
- Comparar a eficácia do potencial antibacteriano de compostos à base de *Euphorbia tirucalli* e do hipoclorito de sódio na desinfecção de água.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Tratamento de efluentes, impacto ambiental e necessidade de desinfecção

De acordo com a Resolução nº 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente -CONAMA, o termo “efluente” refere-se ao despejo líquido proveniente de diferentes atividades e operações, podendo ter origem doméstica, industrial ou hospitalar (Santos et al., 2023).

O tratamento de efluentes consiste em um conjunto de processos físicos, químicos e biológicos destinados à remoção de contaminantes, com o objetivo de reduzir impactos ambientais e permitir o descarte seguro ou reuso da água (Ferreira, 2021; Souza, 2021).

Esses efluentes apresentam composição predominantemente aquosa, sendo constituídos por cerca de 99,9% de água e 0,1% de sólidos dissolvidos e suspensos, além de microrganismos associados à matéria orgânica e inorgânica (Santos et al., 2025; Soares, 2022).

Com o crescimento populacional e a expansão urbana, a geração de efluentes tem aumentado de forma significativa, ampliando os desafios relacionados ao saneamento básico. No Brasil, uma parcela considerável desses resíduos ainda é descartada sem tratamento adequado, contribuindo para a degradação dos recursos hídricos e para a intensificação de riscos à saúde pública (ANA, 2017; Rocha et al., 2023).

Nesse contexto, as Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) desempenham papel essencial na mitigação desses impactos, promovendo a remoção de sólidos, matéria orgânica e microrganismos patogênicos antes do lançamento dos efluentes nos corpos hídricos receptores (Rocha et al., 2023).

3.2 Processos de tratamento e limitações da desinfecção convencional

Os sistemas de tratamento de efluentes compreendem operações unitárias de natureza física, química e biológica. As operações físicas envolvem processos como filtração e sedimentação; as químicas baseiam-se em reações como precipitação e desinfecção; enquanto as biológicas utilizam a ação de microrganismos para a degradação da matéria orgânica (Souza, 2021).

Entre as etapas do tratamento, a desinfecção destaca-se como fundamental para assegurar a qualidade microbiológica do efluente tratado, promovendo a inativação de microrganismos patogênicos antes de seu descarte no meio ambiente (Meyer, 1994; Sommaggio, 2021).

O cloro é o desinfetante mais empregado mundialmente, devido ao seu baixo custo e elevada eficiência na inativação de microrganismos (Abdulgani, 2021; Medeiros; Daniel, 2016). Entretanto, seu uso contínuo pode favorecer a formação de subprodutos tóxicos, associados a riscos ambientais e à saúde humana (Tavares; Moreira, 2025).

Além disso, os métodos convencionais de tratamento nem sempre apresentam eficiência satisfatória na eliminação de microrganismos resistentes, evidenciando a necessidade de tecnologias complementares ou alternativas de desinfecção (Ribeiro Júnior, 2018).

3.3 Indicadores microbiológicos de contaminação em efluentes e corpos hídricos

O conceito de poluição hídrica de origem antrópica pode ser compreendido como o conjunto de alterações nas características físicas, químicas, biológicas ou radiológicas de um corpo hídrico ao longo do tempo, decorrentes diretamente das atividades humanas e que podem comprometer sua qualidade e limitar seus usos atuais, futuros ou potenciais (Sousa, 2021).

Nesse contexto, as características microbiológicas dos corpos hídricos desempenham papel essencial na avaliação da qualidade da água, devido possibilitarem a identificação de riscos associados à contaminação biológica (Frias et al., 2020).

Por sua vez, o lançamento de efluentes em corpos hídricos pode comprometer a qualidade das águas receptoras e favorecer a contaminação microbiológica, evidenciando os impactos desses despejos sobre os parâmetros de qualidade da água e a necessidade de monitoramento para avaliar e controlar tais alterações (Silva, 2020; Sousa et al., 2025).

Dessa forma, a avaliação microbiológica de efluentes é fundamental para determinar sua qualidade sanitária e o potencial risco ao meio ambiente e à saúde humana (Silva et al., 2025), uma vez que efluentes domésticos e industriais podem

conter diversos microrganismos patogênicos, como vírus, protozoários, helmintos e bactérias, sendo os coliformes totais e a *Escherichia coli* os principais indicadores de contaminação fecal (Diogo Júnior, 2020).

A *E. coli* pertence ao grupo dos coliformes totais e está naturalmente associada ao trato intestinal de seres humanos e animais de sangue quente, sendo amplamente empregada como indicador de contaminação fecal recente (INC, 2016). Embora integre a microbiota intestinal normal, algumas cepas de *E. coli* podem apresentar caráter patogênico, causando infecções gastrointestinais e outras enfermidades de relevância clínica (Burgos et al., 2014).

A detecção desses microrganismos em corpos hídricos evidencia possíveis falhas nos sistemas de tratamento de efluentes e representa um importante risco de disseminação de doenças de veiculação hídrica, especialmente por meio da via fecal-oral (Almeida et al., 2025).

3.4 Alternativas naturais com potencial antimicrobiano no tratamento de efluentes

Diante das limitações dos métodos convencionais de desinfecção, têm sido estudadas alternativas naturais com potencial antimicrobiano, como extratos vegetais ricos em compostos bioativos.

Nesse contexto, a *Euphorbia tirucalli*, conhecida popularmente como aveloz, tem se destacado por apresentar propriedades biológicas de interesse, incluindo atividade antimicrobiana, anti-inflamatória e citotóxica, sendo tradicionalmente utilizada na medicina popular (Oliveira; Nunes; Silva, 2025).

A espécie pertence à família Euphorbiaceae, amplamente distribuída em regiões tropicais, e caracteriza-se pela produção de látex branco com potencial irritante e bioativo (Ribeiro et al., 2019; Sátiro; Roque, 2008).

Estudos indicam que o potencial antibacteriano da *E. tirucalli* está associado à presença de metabólitos secundários, como flavonóides, taninos e terpenos (Almeida, 2017). Esses compostos podem atuar na inibição do crescimento bacteriano por diferentes mecanismos.

Os flavonoides podem comprometer a integridade da membrana celular bacteriana e interferir na síntese de DNA e RNA, dificultando a multiplicação microbiana (Kowalski et al., 2020). Já os taninos podem inibir enzimas extracelulares

e processos metabólicos essenciais, levando à inativação bacteriana (Pereira et al., 2019).

Estudos experimentais relatam atividade antibacteriana da *E. tirucalli* frente a microrganismos, como *Escherichia coli*, indicando seu potencial como agente antimicrobiano de interesse biotecnológico (Betim et al., 2017; Silva, 2018).

Dessa forma, o uso de compostos vegetais como a *E. tirucalli* surge como uma alternativa promissora para complementação dos processos de desinfecção em efluentes, especialmente no que se refere à inativação de microrganismos indicadores de contaminação.

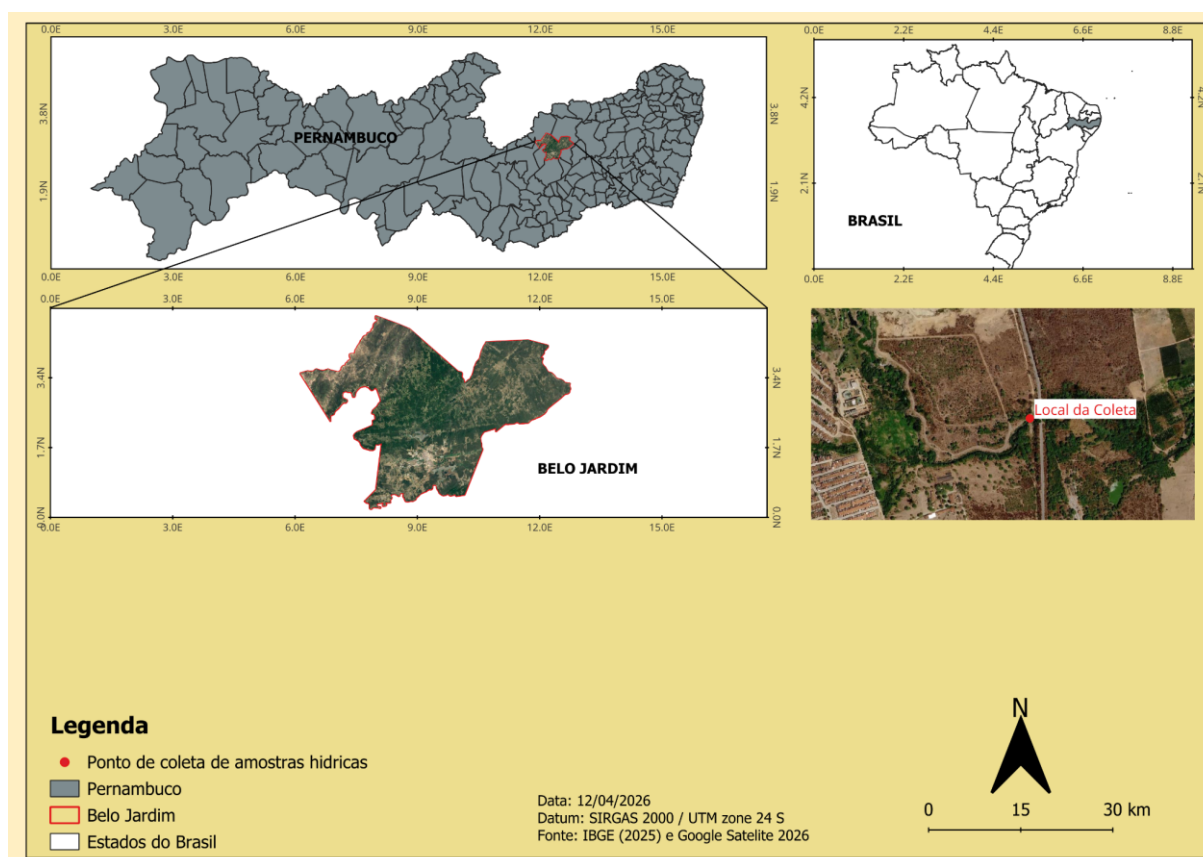
4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Coleta de amostras de água superficial em área sob possível influência de efluentes

A área selecionada está localizada no limite do perímetro urbano do município de Belo Jardim – PE (Figuras 1 e 2), em um trecho imediatamente a jusante da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), às margens da rodovia PE-166 com o ponto amostral situado nas coordenadas geográficas $8^{\circ}20'35,25''\text{S}$ e $36^{\circ}24'5,35''\text{O}$.

Com a área sendo caracterizada como um local estratégico para monitoramento da qualidade hídrica. Uma vez que trechos a jusante tendem a refletir os impactos acumulados das atividades antrópicas ao longo do perímetro urbano, apresentando em geral, degradação da qualidade da água devido ao despejo de efluentes no corpo hídrico (Carvalho; Siqueira, 2011).

Figura 1. Localização do ponto de coleta no município de Belo Jardim, PE



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Figura 2. Local do ponto de coleta das amostras de água com potencial contaminação por efluentes



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

O ponto de coleta das amostras hídricas foi definido com base na necessidade da realização de análises microbiológicas em águas potencialmente impactadas por efluentes domésticos e/ou industriais, considerando-se as características visuais e sensoriais observadas em campo, especialmente a presença de odor intenso e elevada turbidez aparente, fatores indicativos de possível comprometimento da qualidade hídrica da água (Brasil, 2005; Folha, 2024).

A partir dessas observações, partiu-se da hipótese de que o local apresentaria elevadas concentrações de microrganismos indicadores de contaminação, como coliformes totais e *Escherichia coli*.

Os procedimentos de coleta, acondicionamento e preservação das amostras foram realizados conforme as diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 9898:1987, visando garantir a representatividade das amostras e a preservação de suas características físico-químicas e microbiológicas até o momento das análises laboratoriais.

A amostragem foi realizada em dois dias distintos. No primeiro dia, foram coletadas amostras destinadas às análises microbiológicas e aos ensaios envolvendo

os compostos formulados apenas à base de *Euphorbia tirucalli*. No segundo dia, novas amostras de água foram coletadas no mesmo ponto amostral para a realização dos ensaios comparativos com o hipoclorito de sódio e os tratamentos com melhor desempenho antibacteriano observado utilizando *Euphorbia tirucalli* a partir da primeira coleta, mantendo-se os mesmos procedimentos de coleta, acondicionamento e transporte adotados na primeira campanha amostral.

Para a coleta e o transporte das amostras, utilizaram-se recipientes de plástico com tampas do mesmo material, sendo os recipientes e tampas previamente higienizados com solução de água estéril clorada, conforme recomendado pela norma técnica.

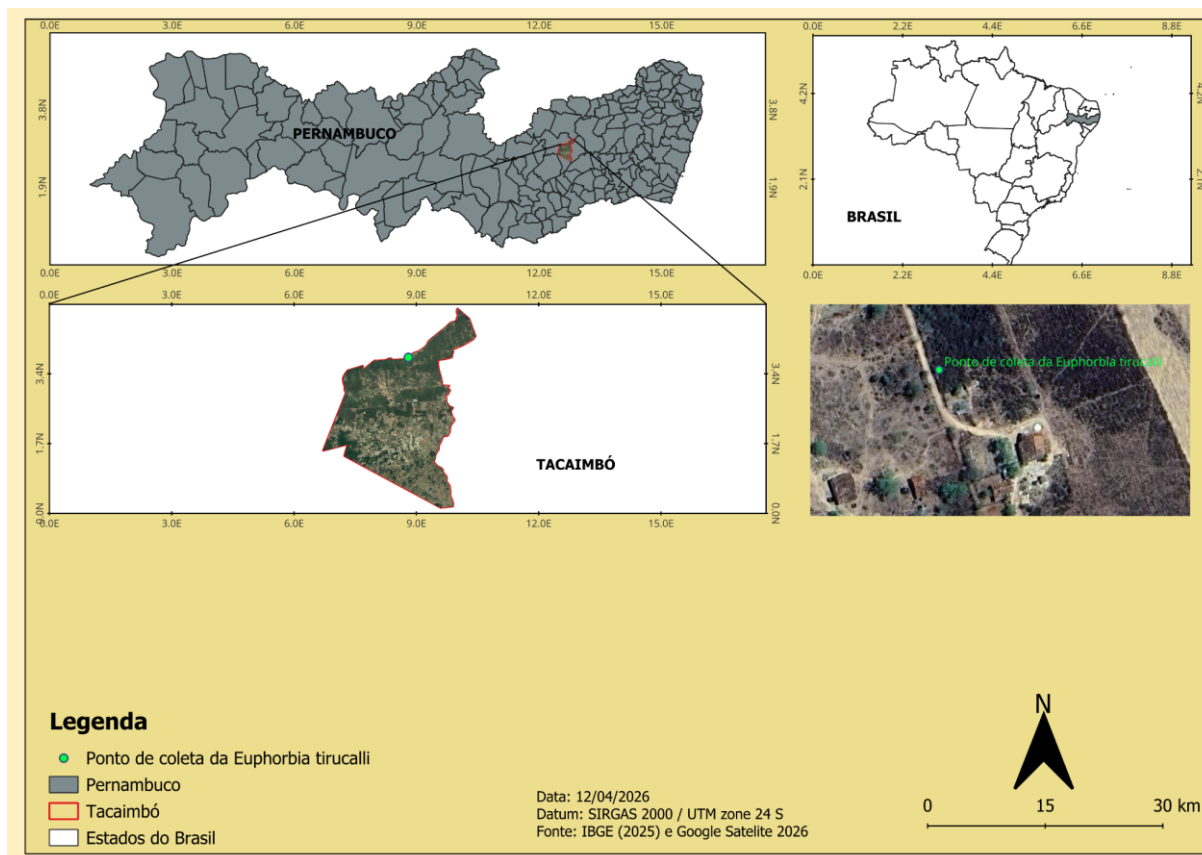
Após a coleta, os recipientes foram devidamente vedados, identificados e acondicionados para transporte até o Laboratório de Engenharia Hídrica e Energias Renováveis, da Unidade Acadêmica de Belo Jardim, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UABJ/UFRPE).

Sendo as amostras hídricas submetidas às análises microbiológicas ainda no mesmo dia da coleta, a fim de minimizar possíveis alterações em suas características físicas e microbiológicas decorrentes do armazenamento prolongado.

4.2 Procedimentos de coleta e preservação de *Euphorbia tirucalli* (aveloz)

As amostras de *Euphorbia tirucalli* foram coletadas na zona rural do município de Tacaimbó, localizado na região na mesorregião do agreste pernambucano, Brasil (Figura 3). Na área foram identificadas e coletadas amostras das partes aéreas de *E. tirucalli* por meio de cortes mecânicos, obtendo-se, aproximadamente, 400 g de material vegetal em cada coleta. Sendo, posteriormente, as amostras lavadas com água destilada ainda no local de coleta, antes do seu acondicionamento e identificação.

Figura 3. Mapa de localização do ponto de coleta das amostras de *Euphorbia tirucalli*



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Durante o procedimento de coleta, evitaram-se partes da planta que apresentassem sinais visíveis de ataque por pragas, doenças ou deterioração, visando garantir assim, a integridade e a qualidade do material utilizado nos experimentos. Seguindo dessa maneira, as metodologias e procedimentos de forma adaptada às adotadas por Rocha e Dantas (2010) e Vale e Orlanda (2011).

O material vegetal coletado, foi inicialmente acondicionado em recipientes plásticos limpos com água destilada estéril e cloro, sendo posteriormente armazenado em caixa térmica refrigerada com foco na preservação de suas características biológicas e químicas.

Em seguida, todos os recipientes foram devidamente identificados com etiquetas contendo o nome da espécie e a data da coleta, com foco na padronização experimental. Após o acondicionamento, os recipientes contendo as amostras das partes aéreas foram envolvidos em papel alumínio, com a finalidade de minimizar a exposição à luz e preservar possíveis compostos bioativos fotossensíveis.

Ao fim das coletas, as amostras foram armazenadas sob refrigeração a 4 °C, protegidas de raios luminosos e, transportadas ao Laboratório de Engenharia Hídrica e Energias Renováveis (UABJ/UFRPE), sendo mantidas sob temperatura de 4°C em estufa até o momento de sua utilização, obedecendo um período máximo de 24 horas após a coleta. As análises físico-químicas foram iniciadas em um período de até 48 horas após a coleta e seu armazenamento refrigerado, conforme recomendações metodológicas descritas por Rocha e Dantas (2010).

4.3 Processamento e análise físico-química de extratos de *Euphorbia tirucalli* obtidos por diferentes métodos de extração

Para a formulação dos compostos utilizados no estudo, foi adotada a metodologia adaptada de Vale e Orlanda (2011). O aveloz, após coleta e adequada higienização (Figura 4), foi cortado em pequenos fragmentos. Parte do material vegetal foi utilizada *in natura* e a outra parte submetida à secagem. Para a fração *in natura*, foram pesados 30 g do material vegetal em balança analítica, aos quais foram adicionados 300 mL de solvente (água destilada ou etanol). Em seguida, procedeu-se à maceração em cadinho (Figura 5A), até a obtenção de uma mistura constituída por bagaço e extrato líquido (Figura 5B).

Figura 4. Aveloz coletado *in natura*



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Após a maceração, o material obtido foi transferido para um becker (Figura 5C), e colocado em contato com o solvente por 5 minutos, sob agitação mecânica (Figura 5D). Em seguida, a mistura foi filtrada em papel filtro para a extração do composto, sendo após isso, o líquido filtrado transferido para um béquer.

Figura 5. Maceração de *Euphorbia tirucalli* em ambiente laboratorial. (A) Etapa de maceração realizada com o auxílio de um cadinho; (B) material de *E. tirucalli* após o processo de maceração; (C) transferência do material macerado para um béquer contendo solvente; e (D) agitação mecânica do material macerado com o solvente



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

A fração destinada à secagem foi distribuída em bandejas metálicas (Figura 6A), e levada a uma estufa com circulação de ar forçado, mantida a 60 °C, por 24 horas (Figura 6B), conforme adaptação a metodologia utilizada por Orlanda e Vale (2015).

Figura 6. Processo de secagem do aveloz e maceração. (A) material de aveloz antes da secagem em estufa; (B) estufa de circulação de ar forçado utilizada no processo de secagem; (C) aveloz seco; e (D) aveloz seco macerado

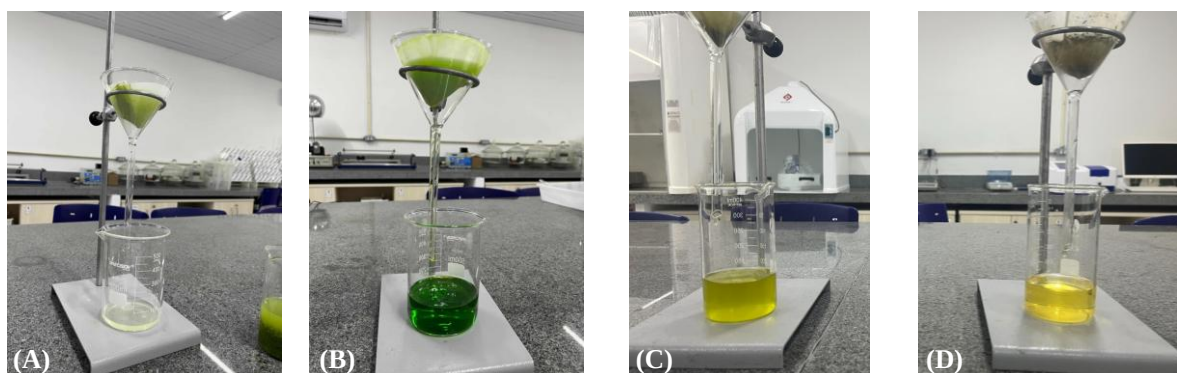


Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

O processo de extração foi realizado em todos os compostos analisados, sendo eles: água destilada com aveloz *in natura* (Figura 7A), etanol 99,5% com aveloz *in natura* (Figura 7B), água destilada com aveloz seca (Figura 7C), e etanol 99,5% com

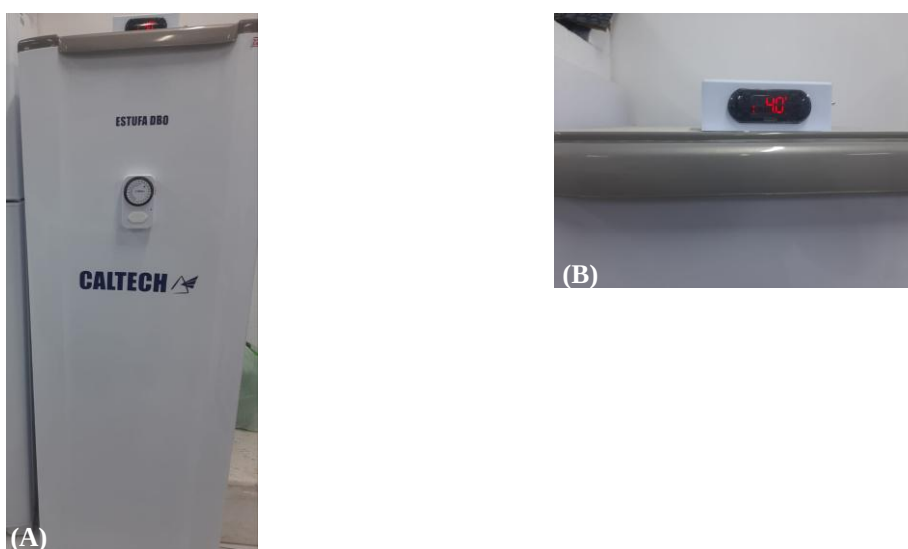
aveloz seca (Figura 7D). Os compostos foram armazenados em estufa de DBO (Figura 8A), mantida a temperatura constante de 4 °C (Figura 8B). Após a finalização das inoculações, os compostos produzidos foram devidamente descartados e, quando necessário, novos compostos foram preparados.

Figura 7. Extração dos compostos de aveloz em laboratório. (A) água destilada com aveloz *in natura*; (B) etanol 99,5% com aveloz *in natura*; (C) água destilada com aveloz seca; e (D) etanol 99,5% com aveloz seca



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Figura 8. Condições de armazenamento dos compostos de aveloz. (A) Armazenamento em estufa de DBO; e (B) temperatura de armazenamento



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

A análise físico-química dos compostos de aveloz foi realizada por meio do monitoramento das variáveis: pH, condutividade elétrica e turbidez. O pH e a condutividade elétrica foram determinados utilizando uma sonda multiparâmetro

(KASOS, AK87 v2/ AK88 v2) (Figura 9A), enquanto a turbidez foi medida com o auxílio de um turbidímetro (DEL LAB DLT-JE). Parte das análises de pH também foi realizada com peagâmetro portátil (AKSO). As medições foram efetuadas diariamente durante um período de 14 dias (Figura 9B). O monitoramento teve como objetivo avaliar possíveis alterações nas características físico-químicas dos compostos ao longo do tempo de armazenamento.

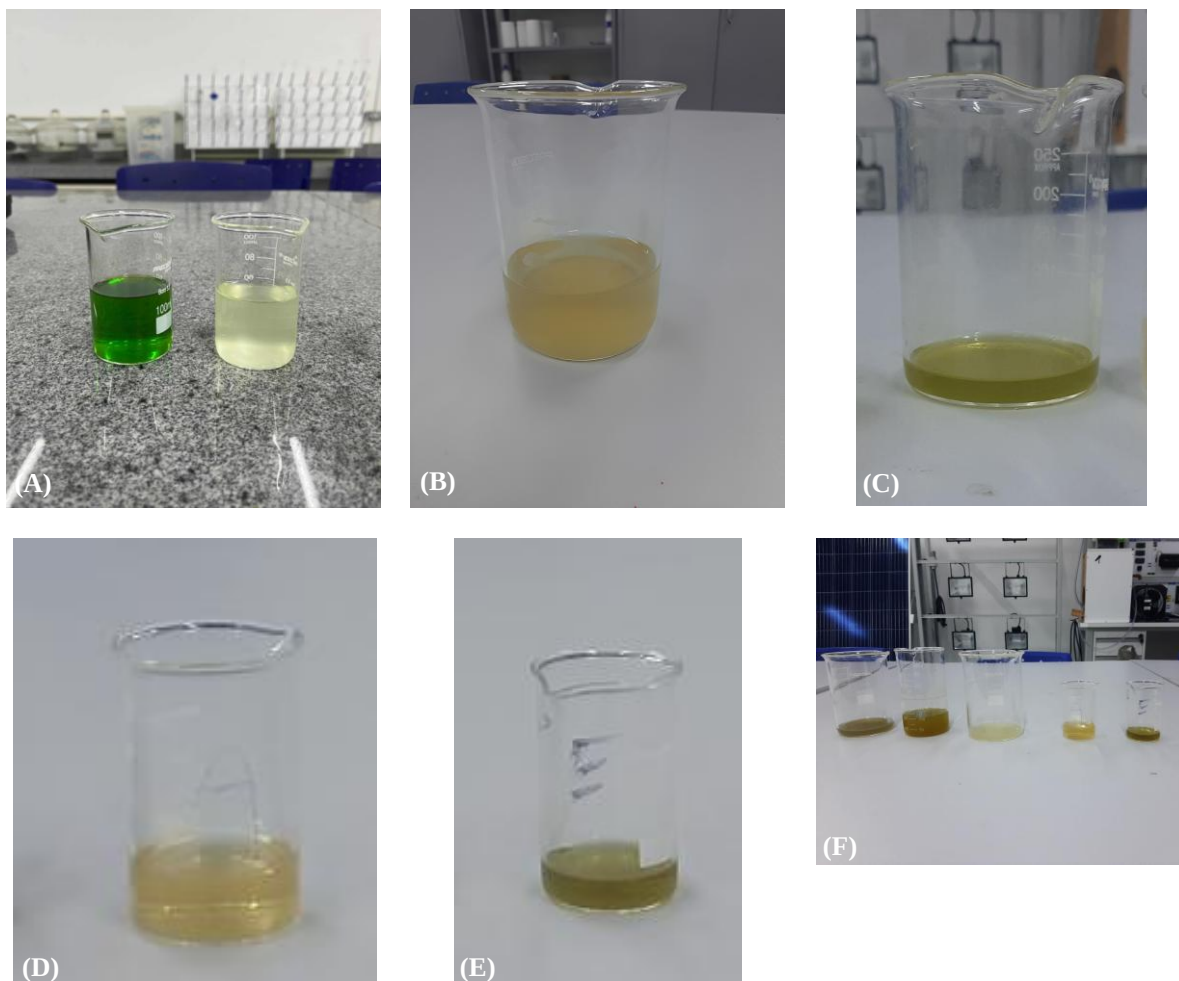
Figura 9. Monitoramento das variáveis físico-químicas dos compostos de aveloz. (A) Sonda multiparâmetro; e (B) análise realizada com a sonda multiparâmetro



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

A Figura 10 mostra a condição visual dos extratos produzidos ao longo do período de armazenamento.

Figura 10. Condição visual dos extratos produzidos ao longo do período de armazenamento. (A) Extratos etanólico (coloração verde) e aquoso (aspecto turvo), ambos obtidos a partir de aveloz in natura, no 1º dia de avaliação; (B) extrato aquoso de aveloz in natura no 14º dia de avaliação; (C) extrato etanólico de aveloz in natura no 14º dia de avaliação; (D) extrato aquoso de aveloz seco no 14º dia de avaliação; (E) extrato etanólico de aveloz seco no 14º dia de avaliação; e (F) conjunto de todos os extratos analisados.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

4.4 Potencial antibacteriano do composto à base de *Euphorbia tirucalli* em amostras de água potencialmente contaminadas

As etapas de cultivo bacteriano e análises microbiológicas foram realizadas nos Laboratórios de Engenharia Hídrica e Energias Renováveis, e de Química, da Unidade

Acadêmica de Belo Jardim, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UABJ/UFRPE). As culturas bacterianas foram obtidas a partir das amostras de água contaminadas com efluentes coletadas no ponto amostral previamente descrito.

Todos os procedimentos laboratoriais seguiram normas de biossegurança e boas práticas microbiológicas, com utilização adequada de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), conforme as orientações descritas no Manual de Microbiologia Clínica da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA (2022), visando minimizar riscos de contaminação e garantir a segurança durante a execução experimental.

Para o cultivo e desenvolvimento das colônias bacterianas, utilizaram-se placas do tipo Compact Dry, contendo meio de cultura cromogênico previamente preparado e específico para detecção de coliformes totais e *E. coli*. O armazenamento, a manipulação e a inoculação das placas seguiram rigorosamente as recomendações do fabricante.

As amostras foram inoculadas em triplicata (Figura 11A), com a finalidade de aumentar a confiabilidade estatística dos resultados experimentais. Imediatamente, após a inoculação, as placas foram acondicionadas em estufa de circulação de ar forçado e incubadas à temperatura de 35 °C (Figura 11B) durante 24 horas, condições consideradas adequadas para o crescimento de coliformes totais e *E. coli* (Duarte; Menezes; Galúcio, 2023; Soares; Santana, 2020).

Figura 11. Inoculação em placas Compact Dry e incubação para desenvolvimento de colônias. (A) Placas compact dry em triplicata com inoculações prontas para irem a estufa; e (B) Posicionamento das placas em estufa utilizada para desenvolvimento das colônias



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Após o período de incubação, foi observado o desenvolvimento das colônias bacterianas nos meios de cultura, sendo as colônias de coloração azul associadas à presença de *E. coli*, enquanto as colônias com tonalidades vermelha, rosa, azul-esverdeada e roxa foram relacionadas à proliferação de coliformes totais, conforme orientações fornecidas pelo fabricante das Compact Dry.

Para avaliação da eficiência antibacteriana do composto formulado à base de *Euphorbia tirucalli*, estabeleceram-se diferentes tratamentos experimentais correspondentes às concentrações de 0% (controle), 25%, 50%, 75% e 100% do composto em relação ao volume fixo de 1 mL da amostra hídrica contaminada, conforme metodologia adaptada de Rocha e Dantas (2010). Dessa forma, foi possível avaliar comparativamente o potencial de redução microbiológica promovido pelas diferentes concentrações do composto.

Durante o processo de inoculação, utilizaram-se pipetas distintas para cada amostra, a fim de evitar contaminação cruzada e preservar a integridade

microbiológica das análises, conforme recomendações de Vermelho (2019). O espalhamento do inóculo sobre o meio de cultura foi realizado com auxílio de alça de níquel-cromo previamente esterilizada por flambagem em bico de Bunsen, garantindo condições assépticas adequadas durante os procedimentos microbiológicos.

Após o período de incubação, procedeu-se à análise microbiológica das colônias desenvolvidas, incluindo sua diferenciação quanto à classificação em bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, conforme metodologias descritas por Madigan et al. (2016), Rosalem e Lourenço (2023), e Vermelho (2019), considerando-se o critério de presença/ausência dos microrganismos estudados.

Para a coloração de Gram, inicialmente realizou-se a coleta das colônias bacterianas com auxílio da alça de níquel-cromo esterilizada, seguida da transferência do material para lâminas de microscopia. Em seguida, aplicou-se o corante violeta cristal durante um minuto, procedendo-se, posteriormente, à lavagem com água destilada. Na sequência, adicionou-se lugol por um minuto, seguido de nova lavagem.

Posteriormente, realizou-se a etapa de descoloração com álcool-acetona e por fim, aplicou-se o corante de contraste de fucsina por um minuto, finalizando-se o procedimento com lavagem em água destilada.

Após o processo de coloração, as lâminas foram analisadas em microscópio óptico (Figura 12), possibilitando a visualização e diferenciação morfológica das bactérias presentes nas amostras analisadas.

Figura 12. Análises de microscopia para a visualização de bactérias gram positivas/negativas



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Ao término das atividades microbiológicas, foram adotados procedimentos adequados de descarte dos resíduos laboratoriais e desinfecção das superfícies e materiais utilizados, visando evitar riscos de contaminação ambiental e proliferação microbiana. Para a higienização, utilizaram-se soluções à base de compostos clorados e clorexidina, devido à sua reconhecida eficácia antimicrobiana frente a bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, fungos, micobactérias e diferentes tipos virais (Vermelho, 2019).

4.5 Atividade antibacteriana do composto à base de *Euphorbia tirucalli* por meio da contagem de UFC e da leitura espectrofotométrica (turbidez/absorbância)

Para a quantificação do crescimento microbiano após o período de incubação, foi selecionada uma placa de cada tratamento para a contagem das Unidades Formadoras de Colônia (UFC). A contagem foi realizada considerando três grades

maiores por placa, com aplicação da Equação 1, apresentada a seguir, permitindo a comparação quantitativa entre os diferentes tratamentos. A eficiência antibacteriana do composto foi determinada por meio da redução percentual do número de colônias em relação ao controle (0%), considerando os resultados obtidos em triplicata.

$$cfu/g = \frac{A_g \times m}{V} \times Df \quad (1)$$

A = contagem média de colônias (em pelo menos 3 grades) dentro da mesma diluição e amostra;

V = volume plaqueado;

m = multiplicador (para redes grandes = 20);

Df = Fator de diluição recíproco da diluição (Df = 1)

A utilização da Equação 1 justificou-se pelo elevado número de UFC observadas nas placas analisadas, o que impossibilitou a contagem individual em toda a superfície das placas. Dessa forma, empregou-se a Equação 1 recomendada pelo fabricante para situações de alta concentração e distribuição homogênea de colônias, possibilitando a estimativa quantitativa do crescimento microbiano.

A partir dessa contagem, foi construída uma curva de crescimento microbiano correlacionando as unidades formadoras de colônia (UFC) com a turbidez das amostras. A turbidez consiste em uma grandeza relacionada à transmitância na espectrofotometria UV/Vis, sendo determinada pela dispersão da luz causada por partículas em suspensão por meio da turbidimetria, conforme descrito pela ANVISA (2019) na Equação 2, apresentada a seguir. Dessa forma, a turbidez corresponde a uma medida obtida por leitura espectrofotométrica. As demais placas foram analisadas exclusivamente por meio de leitura espectrofotométrica.

$$S = \frac{P_0}{P} k \frac{bd^3}{d^4 + \lambda^4} \quad (2)$$

em que:

P₀ = intensidade de radiação incidente;

P = intensidade de radiação transmitida;

b = espessura da amostra (cubeta);

d = diâmetro médio das partículas;

λ = comprimento de onda;

k = constante de proporcionalidade, dependente da natureza da suspensão e do método de medida.

Uma suspensão analisada sob luz monocromática apresenta turbidez proporcional à concentração (C), expressa por $S = kC$, análoga à lei de Lambert-Beer, permitindo a equivalência entre métodos turbidimétricos, nefelométricos e espectrofotométricos (ANVISA, 2019). Para minimizar erros experimentais, as leituras foram realizadas imediatamente após a transferência para as cubetas, evitando a decantação das partículas.

A técnica espectrofotométrica foi utilizada para estimar indiretamente o crescimento microbiano, uma vez que maiores valores de absorbância indicam maior concentração de células em suspensão. Assim, foi possível avaliar o efeito dos diferentes tratamentos com o composto à base de *Euphorbia tirucalli*.

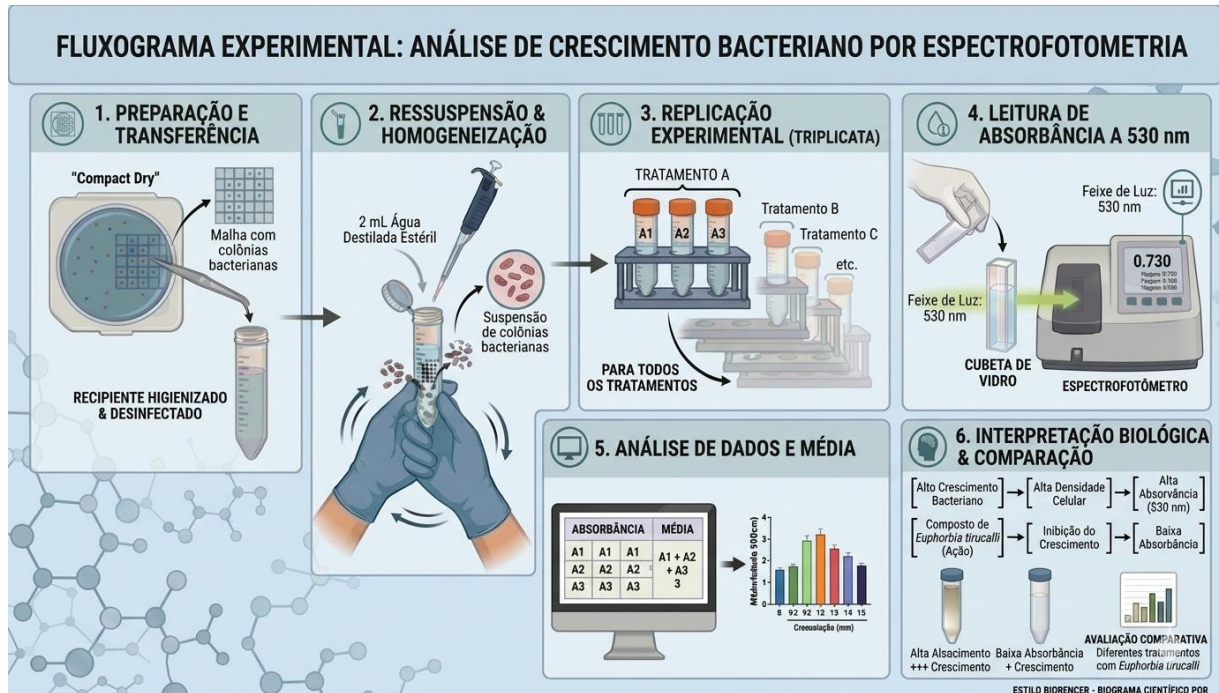
Para as análises espectrofotométricas, as malhas das placas Compact Dry foram incubadas em estufa de circulação de ar forçado a $35,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas. Em seguida, foram transferidas para recipientes previamente higienizados do espectrofotômetro, conforme metodologia adaptada de Nobre (2012).

Adicionaram-se 2 mL de água destilada estéril a cada recipiente, seguido de homogeneização por agitação mecânica para suspensão das colônias bacterianas. Após esse procedimento, as amostras foram imediatamente submetidas à leitura espectrofotométrica.

As leituras foram realizadas a 530 nm, com transmitância de $25,0\% \pm 2,0\%$, conforme Nobre (2012), registrando-se os valores para cada tratamento. Os dados de absorbância foram posteriormente submetidos à média aritmética das triplicatas, permitindo análise comparativa entre os tratamentos.

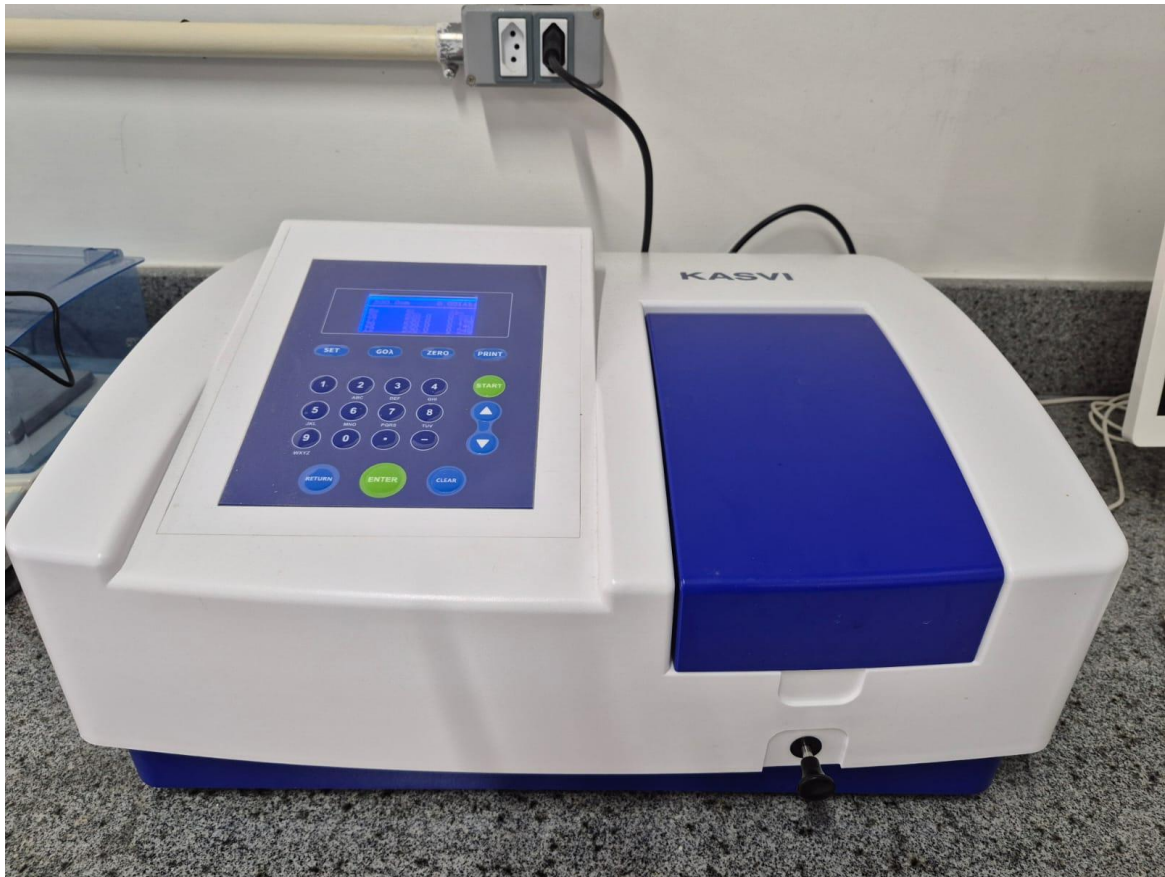
A Figura 13 apresenta um esquema ilustrativo da cronologia das análises espectrofotométricas realizadas neste estudo. As análises espectrofotométricas foram realizadas por meio do uso de um espectrofotômetro UV/Vis (Kasvi, modelo K37-UVVIS - 190 a 1100 nm) (Figura 14).

Figura 13. Esquema ilustrativo de cronologia das análises espectrofotométricas



Fonte: Google Gemini (2026)

Figura 14. Espectrofotômetro utilizado para medição das absorbâncias nos tratamentos



Fonte: Prof. Dra. Juliana Chagas (2026)

4.6 Comparação da eficácia antibacteriana de compostos formulados à base de *Euphorbia tirucalli* e hipoclorito de sódio na desinfecção de águas superficiais potencialmente contaminadas por efluentes

Com o objetivo de comparar a eficácia antibacteriana de compostos formulados à base de *Euphorbia tirucalli* com o hipoclorito de sódio a 2,5% na desinfecção de águas superficiais potencialmente contaminadas por efluentes, foram selecionados os tratamentos que apresentaram os melhores resultados nas análises espectrofotométricas preliminares entre todos os ensaios realizados.

Dessa forma, foram utilizados para comparação os compostos etanólicos formulados com *Euphorbia tirucalli* seca a 75% e *Euphorbia tirucalli in natura* a 75%, além do tratamento contendo hipoclorito de sódio a 2,5% (Figura 15), empregado como desinfetante convencional de referência. Para a comparação entre os tratamentos selecionados, utilizaram-se os dados de absorvância obtidos por meio de leituras espectrofotométricas realizadas em triplicata. Esses dados permitiram estimar indiretamente a concentração microbiana presente nas amostras analisadas, uma vez que a absorvância está relacionada à densidade de microrganismos em suspensão no meio (Cunha; Vieira, 2014).

Figura 15. Culturas microbiológicas submetidas a diferentes tratamentos. (A) Cultura microbiológica contendo tratamentos à base de *E. tirucalli* in natura e seca, além de hipoclorito; e (B) hipoclorito a 2,5% utilizado como agente de tratamento



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

A seleção dos tratamentos foi baseada nos menores valores médios de absorvância observados nas análises microbiológicas preliminares, associados aos resultados do teste estatístico de Tukey. Considerou-se que menores valores de absorvância indicam menor concentração de microrganismos remanescentes no meio hídrico analisado, refletindo maior eficácia antibacteriana dos tratamentos avaliados (Bernardes, 2024).

4.7 Análise estatística

Os dados coletados foram organizados em planilhas do *software* Microsoft Excel e, posteriormente analisados por meio da linguagem de programação Python, utilizando o ambiente Google Colab para a execução do código.

Para o processamento estatístico dos dados, empregaram-se as bibliotecas Pandas, SciPy e Statsmodels, permitindo a organização, manipulação e análise das variáveis experimentais. A elaboração de tabelas, gráficos e demais visualizações também foi realizada com o auxílio do Microsoft Excel.

Inicialmente, realizou-se a análise estatística descritiva dos dados, utilizando medidas de tendência central (média) e de dispersão (desvio padrão). A normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk.

Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, para a comparação entre os grupos, aplicou-se o teste de Tukey. Sendo adotado para todas as análises um nível de significância de 5% ($p < 0,05$) e intervalo de confiança de 95%.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação dos extratos de *Euphorbia tirucalli* (*in natura* e seco) utilizando água destilada e etanol, e de suas propriedades físico-químicas (pH, condutividade elétrica e turbidez)

As Tabelas 1 e 2 apresentaram os valores médios obtidos para os diferentes tratamentos avaliados neste estudo, incluindo extratos de *Euphorbia tirucalli* em água destilada e etanol 99,5%, nas formas *in natura* e seca, ao longo do período de armazenamento.

De modo geral, observou-se que todos os tratamentos apresentaram alterações estatisticamente significativas já nos primeiros sete dias de armazenamento, mesmo sob refrigeração a 4 °C. Esse comportamento indica redução precoce da estabilidade físico-química dos extratos, sugerindo possíveis processos de degradação dos seus constituintes ao longo do tempo.

A análise estatística, realizada por meio de ANOVA seguida do teste de Tukey, confirmou diferenças significativas entre os dias de monitoramento para a maioria dos parâmetros avaliados ao longo dos 14 dias de experimento. Esses resultados evidenciam um comportamento dinâmico dos sistemas analisados, com variações progressivas em pH, condutividade elétrica e turbidez, independentemente do solvente ou da forma de preparo do material vegetal.

No que se refere ao pH, especialmente nos tratamentos com etanol, foram observadas variações significativas ao longo da primeira semana, com valores iniciais mais baixos e tendência de aumento nos dias finais. Destaca-se o dia 3 (3,56) com o menor valor registrado e um aumento gradual até o final do período analisado, com exceção de oscilações pontuais, como no dia 2 (5,96), que pode indicar variação experimental associada ao procedimento de medição. Esse comportamento sugere alterações na composição química dos extratos durante o armazenamento, possivelmente relacionadas à degradação ou transformação de compostos orgânicos presentes.

Tabela 1. Valores médios das propriedades físico-químicas durante o armazenamento dos extratos de *Euphorbia tirucalli in natura* e seca com água destilada

Semana	Dia	Propriedades físico-químicas					
		pH	Condutividade elétrica (uS/cm)	Turbidez (NTU)	pH	Condutividade elétrica (uS/cm)	Turbidez (NTU)
Tratamento	Água destilada <i>in natura</i>			Água destilada seca			
1	1	3,79 AB	1364,67 B	182,67 C	N/A	N/A	N/A
	2	3,99 B	1277,00 A	25,33 B	N/A	N/A	N/A
	3	3,99 B	1358,67 B	13,61 A	N/A	N/A	N/A
	4	3,65 A	1381,67 B	16,62 A	N/A	N/A	N/A
	5	3,73 A	1479,00 C	16,41 A	N/A	N/A	N/A
	6	3,70 A	1142,67 A	16,70 A	N/A	N/A	N/A
	7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
2	1	4,50 C	1263,33 B	616,00 C	4,50 B	1846,50 C	13,32 A
	2	4,23 B	1267,67 B	415,33 B	4,44 B	2,32 A	14,28 A
	3	4,97 D	1207,00 A	497,00 B	4,97 D	1810,00 C	16,41 B
	4	3,88 A	1270,67 B	626,33 C	4,05 A	1867,33 C	18,44 B
	5	4,49 C	1190,33 A	1074,67 D	4,90 D	2,18 A	20,27 C
	6	3,99 A	1466,00 C	N/A	4,54 C	2,22 A	25,87 D
	7	4,34 B	1291,33 B	N/A	4,71 C	1830,33 C	32,00 E

As letras iguais indicam que não houve diferença estatística significativa entre os dias da semana para cada propriedade físico-química avaliada em cada tratamento. N/A: Não se aplica. Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Tabela 2. Valores médios das propriedades físico-químicas durante o armazenamento dos extratos de *Euphorbia tirucalli in natura* e seca com etanol 99,5%

Semana	Dia	Propriedades físico-químicas					
		pH	Condutivi- -dade elétrica (uS/cm)	Turbidez (NTU)	pH	Condutivi- dade elétrica (uS/cm)	Turbidez (NTU)
Tratamento		etanol 99,5% <i>in natura</i>			etanol 99,5% seca		
1	1	3,79 A	37,59 A	15,55 C	N/A	N/A	N/A
	2	5,96 E	63,40 C	8,89 B	N/A	N/A	N/A
	3	3,56 A	64,50 C	3,76 A	N/A	N/A	N/A
	4	4,43 C	66,83 D	3,44 A	N/A	N/A	N/A
	5	3,95 B	57,47 B	62,80 D	N/A	N/A	N/A
	6	4,54 C	68,30 D	41,70 D	N/A	N/A	N/A
	7	5,50 D	69,70 D	155,33 E	N/A	N/A	N/A
2	1	4,50 C	63,90 A	112,33 B	4,90 D	6,40 A	27,57 B
	2	3,74 A	87,40 B	22,23 A	4,42 C	7,87 A	1,48 A
	3	4,27 B	865,67 E	82,73 B	4,00 B	8,57 A	20,78 B
	4	5,16 D	89,77 B	130,67 C	2,99 A	13,40 B	63,53 C
	5	5,32 D	107,83 C	190,00 D	3,73 B	18,15 B	140,33 D
	6	4,68 C	1298,33 F	492,33 E	4,67 D	242,50 C	177,00 E
	7	5,17 D	1404,00 G	538,00 E	4,26 C	297,50 D	184,00 E

As letras iguais indicam que não houve diferença estatística significativa entre os dias da semana para cada propriedade físico-química avaliada em cada tratamento. N/A: Não se aplica. Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

A condutividade elétrica apresentou aumento consistente ao longo do período experimental em todos os tratamentos, com destaque para o extrato etanólico com material *in natura*, no qual os valores aumentaram de aproximadamente 63,9 $\mu\text{S/cm}$ no primeiro dia para valores superiores a 1400 $\mu\text{S/cm}$ no sétimo dia. Esse incremento indica elevação na concentração de íons dissolvidos na solução, possivelmente decorrente da degradação de metabólitos e da liberação de espécies iônicas oriundas da ruptura de estruturas celulares e compostos bioativos.

De forma semelhante, a turbidez apresentou aumento expressivo ao longo do armazenamento, especialmente nos tratamentos contendo etanol. Na segunda semana, observou-se elevação de aproximadamente 22 UNT no dia 2 para 538 UNT no dia 7, indicando aumento significativo de partículas em suspensão. Esse comportamento pode estar associado à formação de agregados coloidais, precipitação de compostos orgânicos e instabilidade do sistema ao longo do tempo.

Os tratamentos preparados com água destilada, tanto na forma *in natura* quanto seca, também apresentaram variações significativas nos parâmetros analisados, evidenciando instabilidade físico-química semelhante à observada nos sistemas etanólicos. De forma geral, todos os extratos demonstraram perda progressiva de estabilidade ao longo do período experimental, indicando que o tipo de solvente e a forma de preparo do material vegetal não impediram as alterações observadas durante o armazenamento (Lima; França; Loiola, 2013).

Em relação à turbidez, os valores elevados estão relacionados ao aumento da quantidade de partículas suspensas na solução (Nardy et al., 2020). Devendo ocorrer em virtude da precipitação de compostos orgânicos ou formação de agregados coloidais.

Os extratos obtidos a partir de material seco foram avaliados a partir da segunda semana experimental, não apresentando dados na primeira semana, o que foi devidamente considerado na análise comparativa entre os tratamentos.

Em síntese, os resultados apresentados nas Tabelas 1 e 2 demonstram redução da estabilidade físico-química dos extratos de *Euphorbia tirucalli* ao longo dos 14 dias de armazenamento. O aumento progressivo da condutividade elétrica e da turbidez, associado às variações significativas de pH e à formação de diferentes grupos estatísticos pelo teste de Tukey, indica a ocorrência de transformações químicas relevantes nos sistemas avaliados.

Essas alterações sugerem degradação parcial dos constituintes dos extratos, o que pode resultar em perda gradual de suas propriedades funcionais ao longo do tempo. Assim, os dados obtidos evidenciam que o tempo de armazenamento exerce influência direta sobre a estabilidade físico-química dos extratos estudados, independentemente do solvente utilizado e da condição do material vegetal (*in natura* ou seco).

5.2 Avaliação da atividade antibacteriana do composto à base de *Euphorbia tirucalli* frente a coliformes totais e *Escherichia coli* em águas superficiais potencialmente contaminadas por efluentes

Os resultados das análises microbiológicas realizadas em laboratório evidenciaram elevada ocorrência de coliformes totais e *Escherichia coli* nas amostras de águas superficiais sob influência de efluentes avaliadas, conforme observado nas placas Compact Dry utilizadas no estudo. Esse crescimento bacteriano foi mais pronunciado nas condições em que o composto foi aplicado em associação com água destilada, indicando limitada ou nula atividade inibitória nessas diluições.

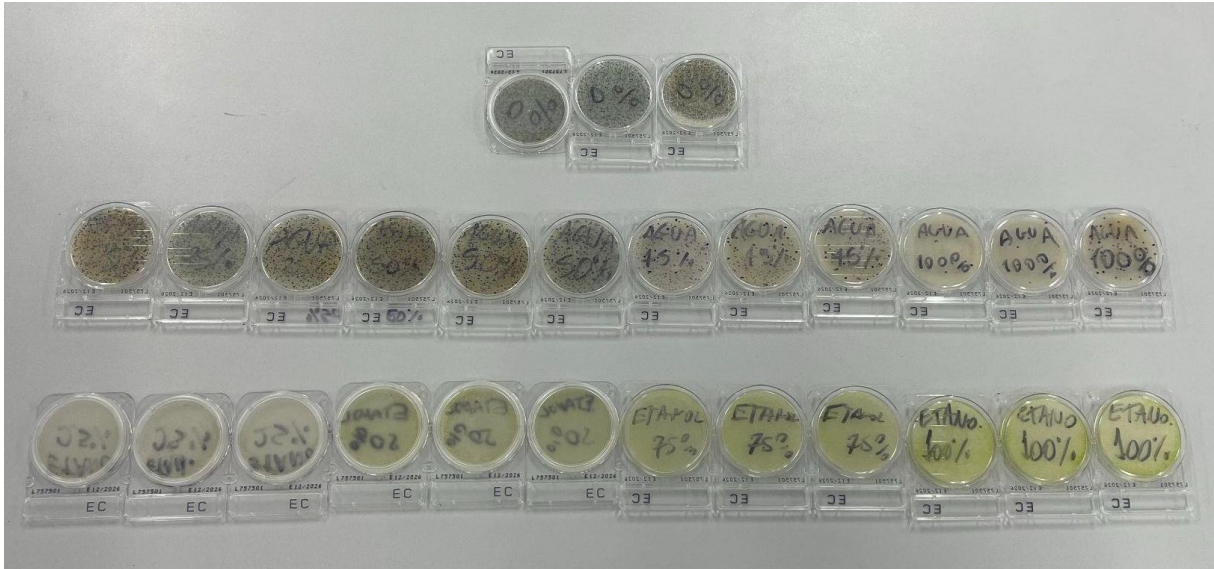
As Figuras 16 e 17 ilustram a dinâmica do crescimento de coliformes totais e *E. coli* nas diferentes condições experimentais, considerando as distintas proporções de inoculação de água contaminada e do composto à base de *Euphorbia tirucalli*. A elevada confluência de colônias observada em algumas placas sugere forte contaminação de origem fecal no corpo hídrico amostrado, reforçando a hipótese de degradação microbiológica do ambiente de coleta.

Esse cenário corrobora os achados de Santos et al. (2025), que relataram altos níveis de poluição no mesmo sistema hídrico, associados à presença de efluentes não tratados. De modo semelhante, Silva et al. (2023) destacaram que o lançamento de efluentes em corpos d'água favorece a deterioração ambiental, evidenciada inclusive por alterações ecológicas, como a proliferação de macrófitas no reservatório Engenheiro Severino Guerra (reservatório do Bitury).

Alves et al. (2022) reforçam que áreas sob forte influência antrópica apresentam maior incidência de contaminação por coliformes totais e *E. coli*, o que compromete a qualidade da água e representa risco direto à saúde pública, dada a associação desses microrganismos com contaminação fecal.

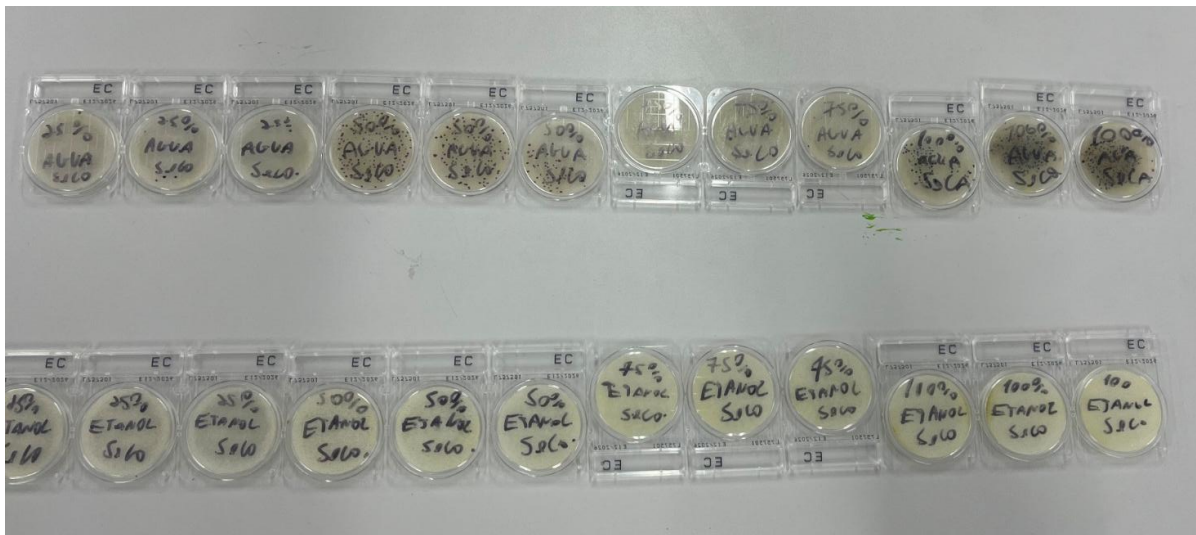
Ao final do período de incubação recomendado pelo fabricante das placas Compact Dry, observou-se crescimento bacteriano evidente na maioria das amostras controle, com colônias avermelhadas indicativas de coliformes totais e colônias azuladas compatíveis com *E. coli*. Em contraste, nas placas tratadas com o composto à base de extrato etanólico a 99,5%, não foi observada formação visível de colônias bacterianas.

Figura 16. Placas com inóculos submetidos ao tratamento com extrato de aveloz (*Euphorbia tirucalli*) *in natura* em água destilada e etanol 99,5% em amostras de águas superficiais sob influência de efluentes



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Figura 17. Placas com inóculos de águas superficiais sob influência de efluentes submetidos ao tratamento com extrato de aveloz (*Euphorbia tirucalli*) seco em água destilada e etanol 99,5%.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

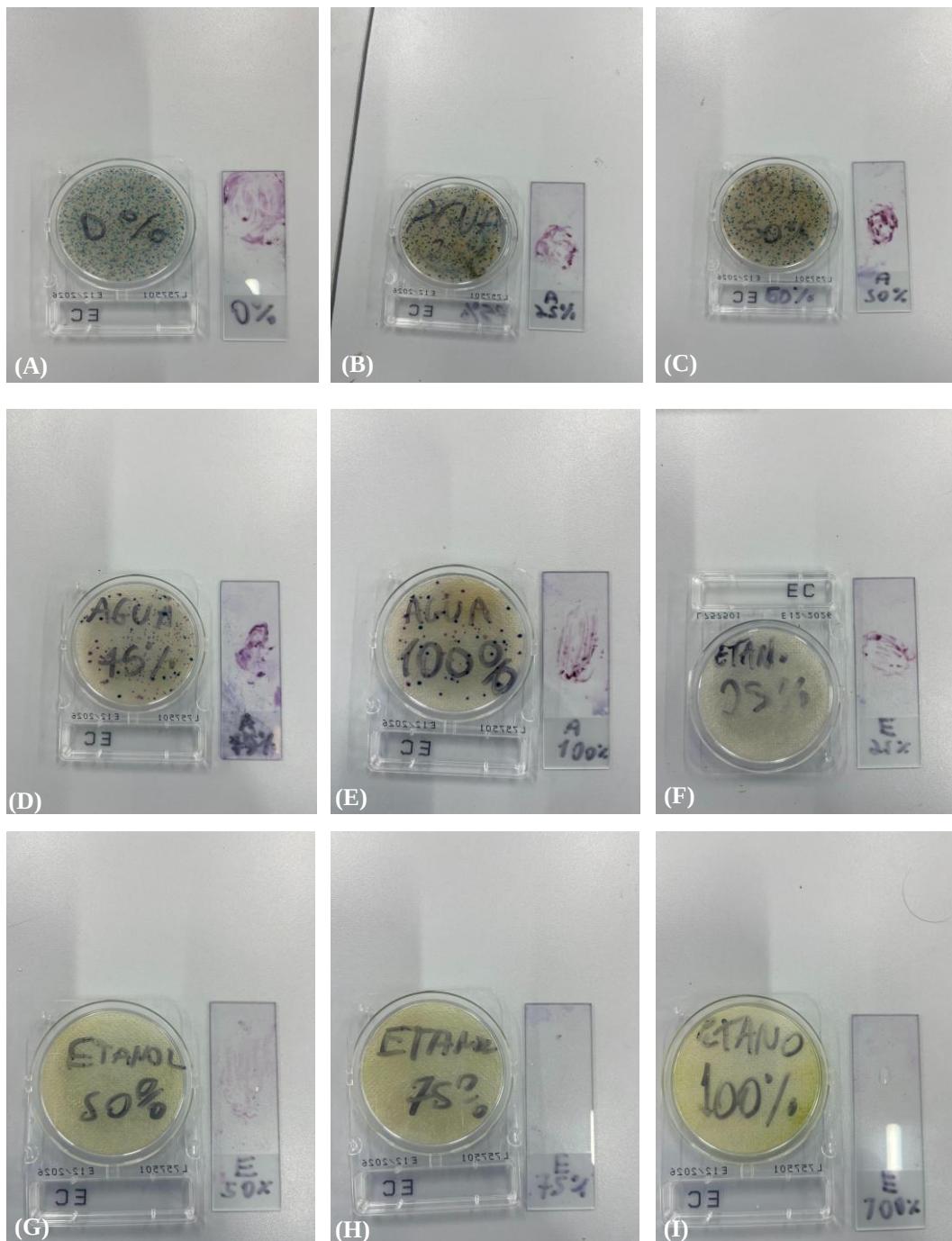
Entretanto, considerando a possibilidade de interferência do etanol na coloração dos meios de cultura (Figuras 16 e 17), conforme discutido por Kulkarni & Nikolov (2018) e Aluko (2024), a ausência de colônias visíveis não pode ser

interpretada de forma isolada, como ausência de crescimento bacteriano, podendo também estar associada à descoloração dos pigmentos do meio.

Dessa forma, a coloração de Gram foi empregada para confirmar a presença ou ausência de microrganismos viáveis nas amostras tratadas. A análise revelou predominância de bactérias Gram-negativas nas placas controle e nas condições com diluições do composto, enquanto nas placas tratadas com 100% do composto etanólico não foram observadas estruturas bacterianas coradas, sugerindo ausência de células viáveis nessas condições (Figuras 18, 19, 20 e 21).

O método de coloração de Gram fundamenta-se nas diferenças estruturais da parede celular bacteriana. As bactérias Gram-positivas retêm o cristal violeta devido à sua espessa camada de peptidoglicano, enquanto as Gram-negativas perdem esse corante durante a etapa de descoloração e passam a ser visualizadas em coloração rosada após a aplicação do corante de contraste (SA, 2026).

Figura 18. Amostras de placas com extrato de aveloz *in natura* e seca em água destilada e etanol 99,5% para microscopia com coloração de Gram, incluindo controle. (A) Controle; (B) água destilada com 25% aveloz *in natura*; (C) água destilada com 50% aveloz *in natura*; (D) água destilada com 75% aveloz *in natura*; (E) água destilada com 100% aveloz *in natura*; (F) etanol 99,5% com 25% aveloz *in natura*; (G) etanol 99,5% com 50% aveloz *in natura*; (H) etanol 99,5% com 75% aveloz *in natura*; e (I) etanol 99,5% com 100% aveloz *in natura*.



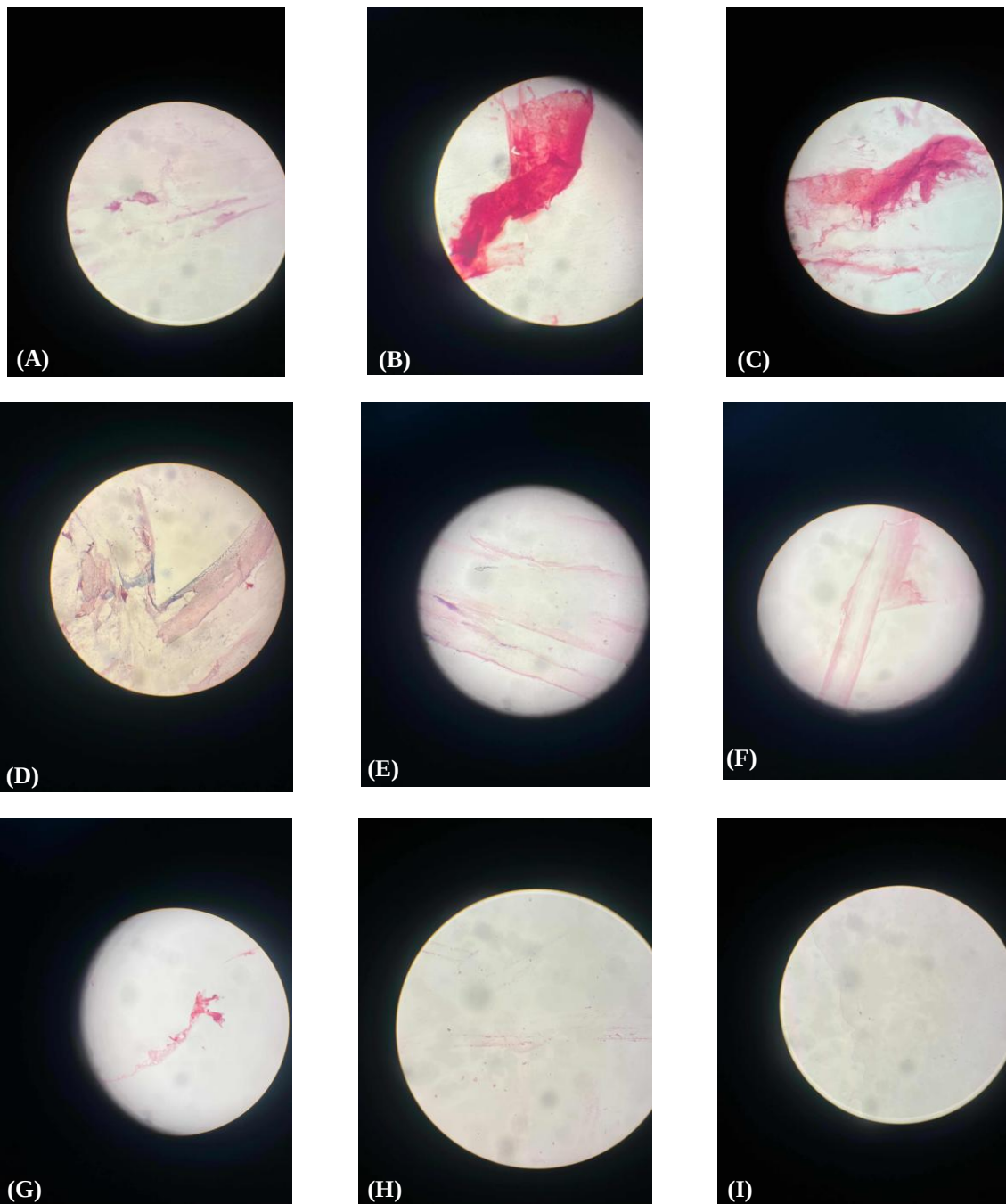
Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Figura 19. Amostras de placas com extrato de aveloz *in natura* e seca em água destilada e etanol 99,5% para microscopia com coloração de Gram, incluindo controle. (A) Água destilada com 25% aveloz seca; (B) água destilada com 50% aveloz seca; (C) água destilada com 75% aveloz seca; (D) água destilada com 100% aveloz seca; (E) etanol 99,5% com 25% aveloz seca; (F) etanol 99,5% com 50% aveloz seca; (G) etanol 99,5% com 75% aveloz seca; e (H) etanol 99,5% com 100% aveloz seca.



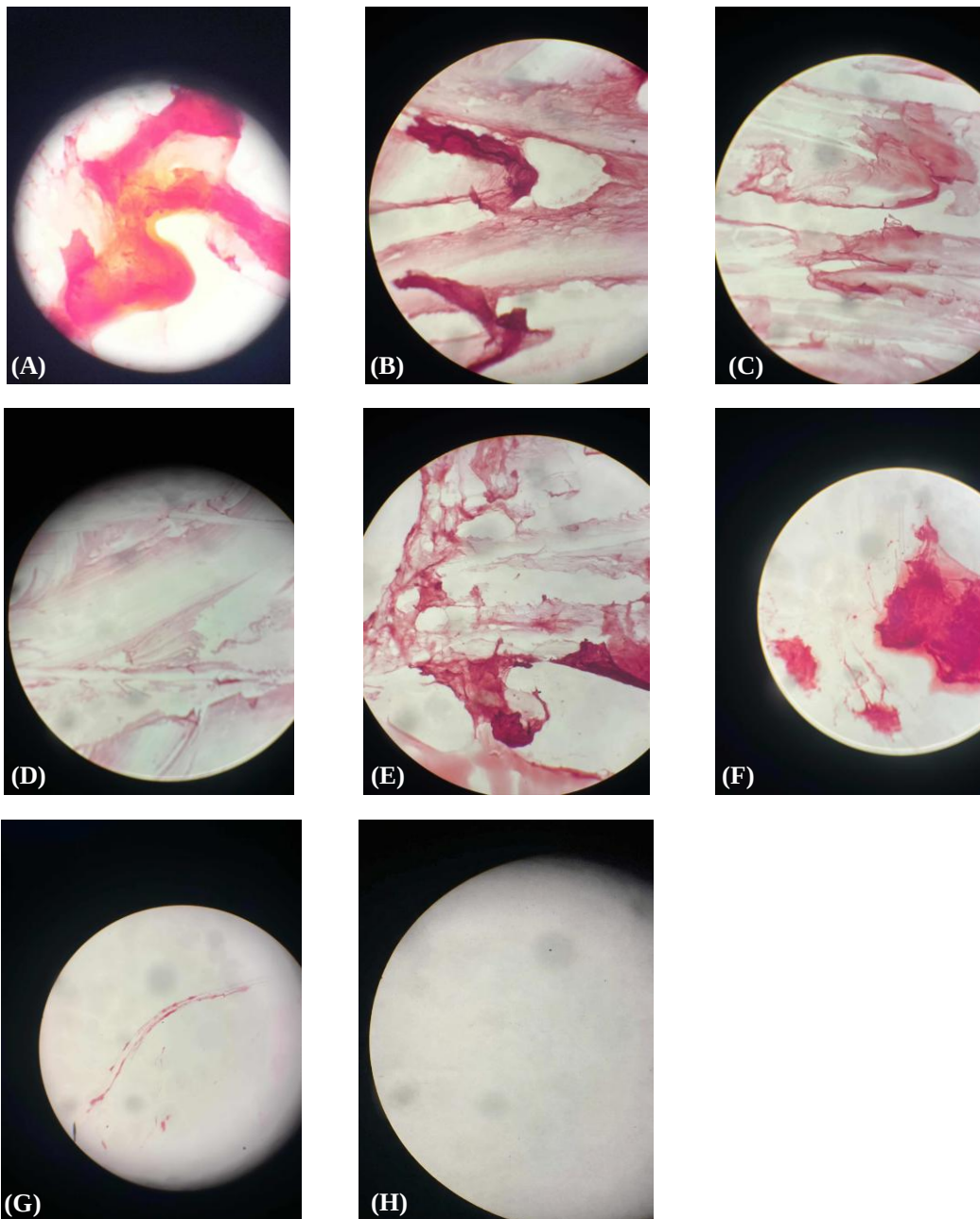
Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Figura 20. Amostras de microscopia coradas pelo método de Gram, referentes ao extrato de aveloz *in natura* e seca em água destilada e em etanol a 99,5%, incluindo controle. (A) Controle; (B) água destilada com 25% aveloz *in natura*; (C) água destilada com 50% aveloz *in natura*; (D) água destilada com 75% aveloz *in natura*; (E) água destilada com 100% aveloz *in natura*; (F) etanol 99,5% com 25% aveloz *in natura*; (G) etanol 99,5% com 50% aveloz *in natura*; (H) etanol 99,5% com 75% aveloz *in natura*; e (I) etanol 99,5% com 100% aveloz *in natura*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Figura 21. Amostras de microscopia coradas pelo método de Gram, referentes ao extrato de aveloz *in natura* e seca em água destilada e em etanol a 99,5%, incluindo controle. (A) Água destilada com 25% aveloz seca; (B) água destilada com 50% aveloz seca; (C) água destilada com 75% aveloz seca; (D) água destilada com 100% aveloz seca; (E) etanol 99,5% com 25% aveloz seca; (F) etanol 99,5% com 50% aveloz seca; (G) etanol 99,5% com 75% aveloz seca; e (H) etanol 99,5% com 100% aveloz seca.



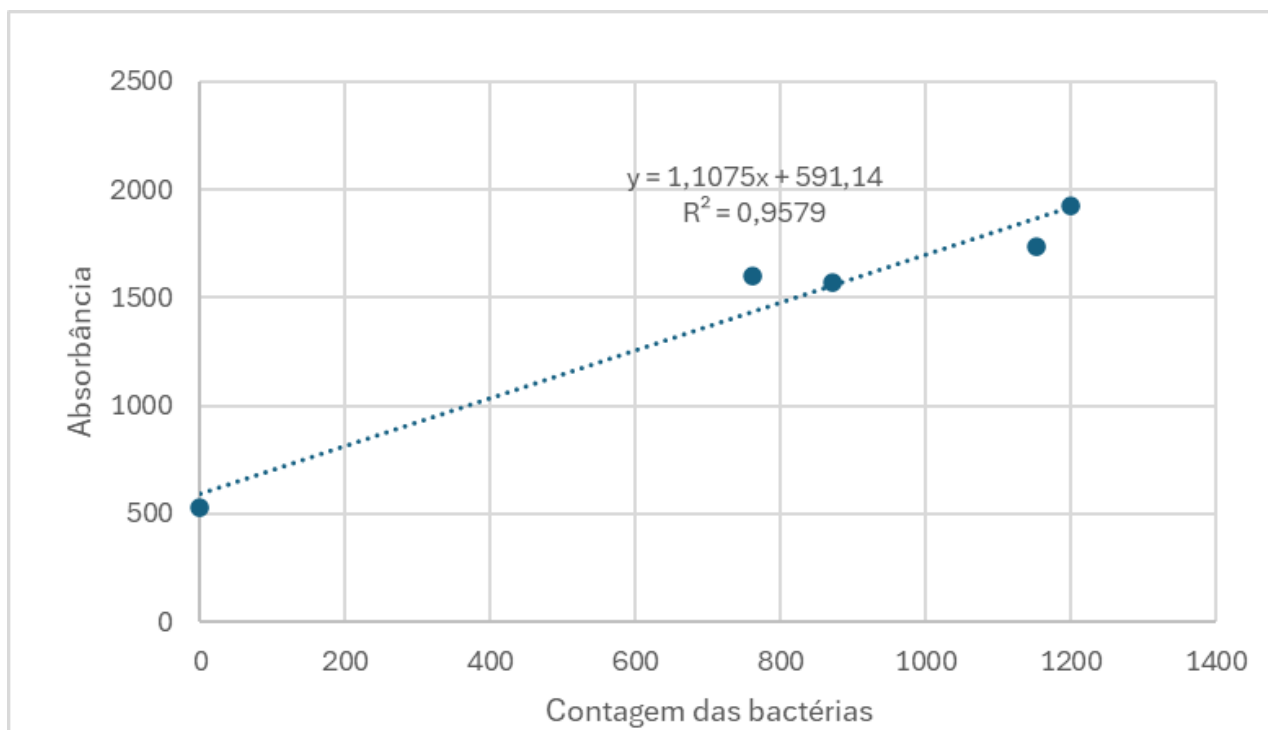
Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

5.3 Avaliação da atividade antibacteriana do composto à base de *Euphorbia tirucalli* por meio da contagem de Unidades Formadoras de Colônias (UFC) e da leitura espectrofotométrica (turbidez/absorbância)

Na Figura 22 são apresentados os resultados da relação entre a leitura espectrofotométrica de turbidez/absorbância e a contagem de unidades formadoras de colônia (UFC), bem como a equação de regressão obtida a partir dos dados experimentais.

O coeficiente de determinação observado ($R^2 = 0,9579$) evidencia elevado grau de ajuste do modelo, indicando forte correlação entre os valores de absorbância e a densidade bacteriana nas amostras analisadas. Esses resultados demonstram que a espectrofotometria se mostrou um método eficiente para estimar indiretamente o crescimento microbiano nos tratamentos avaliados.

Figura 22. Relação entre a leitura espectrofotométrica (turbidez/absorbância) e a contagem de unidades formadoras de colônia (UFC), com apresentação da equação de regressão obtida



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

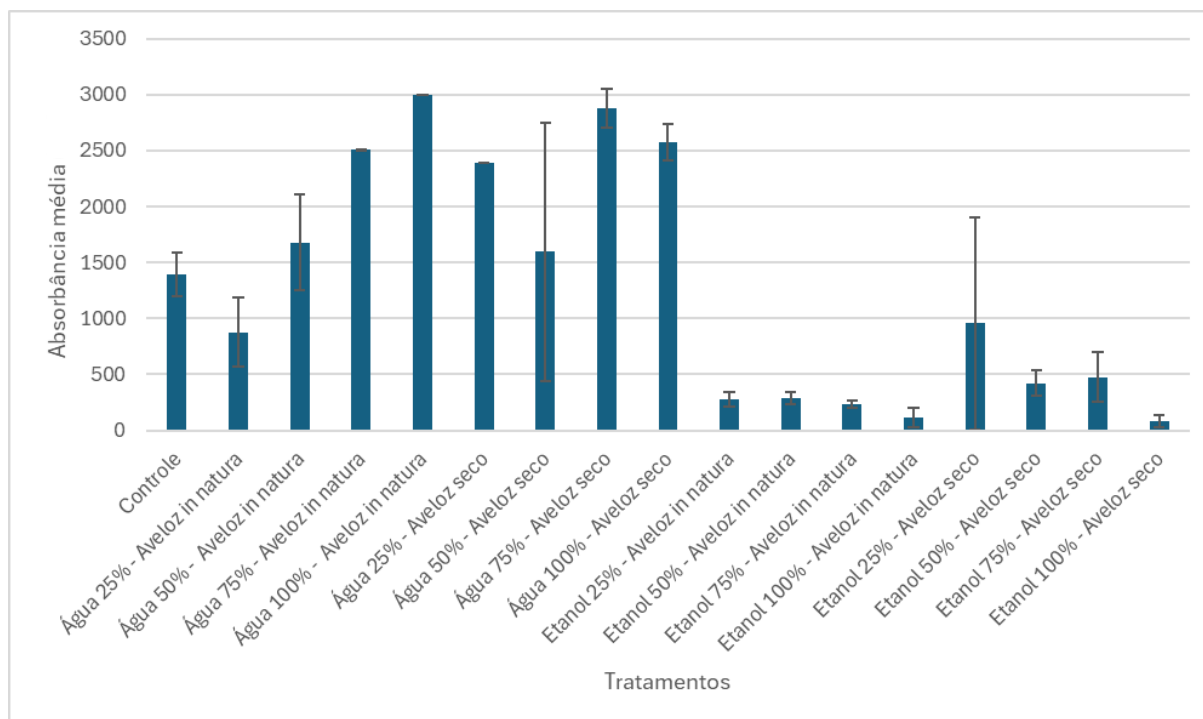
Entretanto, devido à perda de pigmentação das colônias bacterianas observada nas placas contendo os compostos etanólicos, não foi possível realizar

adequadamente a contagem de UFC nesses tratamentos. Dessa forma, a equação de regressão foi construída exclusivamente a partir do grupo controle e dos tratamentos com água destilada, o que impossibilitou sua aplicação para estimativa de UFC nos demais grupos experimentais. Assim, optou-se pela utilização dos valores de absorbância como principal parâmetro de avaliação da atividade antibacteriana dos compostos formulados com *Euphorbia tirucalli*.

Os resultados de absorbância permitiram inferir indiretamente a densidade bacteriana presente em cada tratamento, considerando que maiores valores estão associados a maior turbidez e, conseqüentemente, maior crescimento microbiano. Nesse contexto, a comparação entre os tratamentos possibilitou avaliar o potencial antibacteriano dos diferentes métodos de extração e concentrações testadas.

O tratamento controle apresentou média de absorbância de $1397,4 \pm 196,60$ sendo utilizado como referência para comparação com os demais grupos (Figura 23). De modo geral, os tratamentos obtidos por extração aquosa apresentaram elevados valores de absorbância, indicando baixa capacidade de inibição do crescimento bacteriano.

Figura 23. Gráfico de absorvância média com desvio padrão dos tratamentos utilizados



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Esse comportamento sugere que a água destilada não foi eficiente como solvente para extração dos compostos bioativos responsáveis pela atividade antimicrobiana da planta. Entre os extratos aquosos *in natura*, observou-se aumento progressivo da absorvância com o aumento da concentração do extrato vegetal. O tratamento com 100% de água destilada e extrato fresco apresentou absorvância de 3000 ± 0 , seguido do tratamento com 75% ($2505,5 \pm 4,95$), valores superiores ao controle, indicando ausência de efeito antibacteriano nas condições avaliadas e possível favorecimento do crescimento microbiano.

Resultados semelhantes foram observados nos extratos aquosos preparados com material seco de *E. tirucalli*, com valores de $2879 \pm 171,12$ (75%) e $2579 \pm 162,63$ (100%), reforçando a baixa eficiência antimicrobiana da extração aquosa. Conforme evidenciado por Arruda et al. (2015), que também observaram a ausência de ação antibacteriana durante o período experimental utilizando água destilada.

O tratamento com 50% de extrato seco em água apresentou média de $1595,5 \pm 1157,53$, entretanto o elevado desvio padrão indica alta variabilidade entre as repetições, reduzindo a confiabilidade estatística desse resultado.

Em contrapartida, os tratamentos etanólicos apresentaram os menores valores de absorvência entre todos os grupos experimentais, evidenciando maior potencial antibacteriano. Nos extratos etanólicos *in natura*, observou-se redução expressiva da absorvência em relação ao controle, com destaque para etanol 100% ($114 \pm 83,44$), etanol 75% ($233,25 \pm 31,75$), etanol 25% ($281,5 \pm 64,35$) e etanol 50% ($284,5 \pm 54,45$).

Esses resultados indicam maior eficiência dos extratos etanólicos frescos na inibição do crescimento microbiano, sugerindo que o etanol foi mais eficiente na extração de compostos bioativos com atividade antimicrobiana. Essa maior eficiência pode estar relacionada à melhor solubilização de compostos fenólicos, flavonoides, terpenos e outras substâncias bioativas, além de possível aumento da permeabilidade celular bacteriana (Kowalski et al., 2020).

Os extratos etanólicos preparados com material seco também apresentaram redução da absorvência em relação ao controle, com destaque para etanol 50% ($421 \pm 114,55$) e etanol 75% ($475 \pm 220,51$). Embora esses valores sejam superiores aos observados nos extratos etanólicos *in natura*, ainda permanecem significativamente inferiores aos tratamentos aquosos, sugerindo potencial atividade antibacteriana.

O tratamento com etanol 25% e extrato seco apresentou elevado desvio padrão ($\pm 950,35$), indicando grande variabilidade experimental, possivelmente associada à heterogeneidade do material vegetal e à instabilidade dos compostos após o processo de secagem.

De forma geral, os resultados demonstram que os extratos etanólicos de *Euphorbia tirucalli* apresentaram maior potencial antibacteriano quando comparados aos extratos aquosos, evidenciado pelos menores valores de absorvência. Esses achados sugerem maior eficiência do etanol na extração e preservação de compostos bioativos com ação antimicrobiana.

Entretanto, os resultados divergem parcialmente de Brasileiro et al. (2006), que relataram ausência de atividade antimicrobiana do aveloz em extratos etanólicos secos. Por outro lado, os extratos aquosos mostraram-se pouco eficientes na inibição do crescimento bacteriano, apresentando valores de absorvência iguais ou superiores ao controle, reforçando sua baixa atividade antibacteriana nas condições experimentais avaliadas.

5.4 Comparação da eficácia antibacteriana de compostos formulados à base de *Euphorbia tirucalli* e hipoclorito de sódio na desinfecção águas superficiais e efluentes

Os resultados obtidos por meio das leituras espectrofotométricas dos compostos formulados à base de *Euphorbia tirucalli* permitiram avaliar sua eficácia antibacteriana em comparação ao hipoclorito de sódio a 2,5%, amplamente utilizado como agente desinfetante em processos convencionais no tratamento de efluentes e como alternativa eficaz e de baixo custo para a purificação de água (Rocha, 2023; Brandão Filho, 2024; Tenório Júnior, 2024; Januth et al., 2025).

Considerando que menores valores de absorbância indicam menor concentração de microrganismos em suspensão (Cunha; Vieira, 2014), observou-se redução expressiva da carga microbiana em todos os tratamentos avaliados quando comparados ao grupo controle, o qual apresentou absorbância média de 1397,4. Esses resultados indicam que tanto os extratos vegetais quanto o hipoclorito de sódio foram capazes de promover significativa atividade antimicrobiana nas condições experimentais testadas.

Entre os tratamentos analisados, o extrato etanólico *in natura* a 75% apresentou o menor valor médio de absorbância (233,25), sugerindo maior eficiência na redução da carga bacteriana. Em seguida, observou-se o tratamento com hipoclorito de sódio a 75% (372,75), obtido a partir da solução comercial a 2,5%, e o extrato etanólico seco a 75% (475,20). Embora todos os tratamentos tenham promovido redução relevante em relação ao controle, os menores valores observados no extrato *in natura* indicam desempenho ligeiramente superior em termos de ação antibacteriana.

Esse resultado pode estar relacionado ao uso do etanol como solvente extrator, o qual favorece a solubilização de compostos bioativos com potencial antimicrobiano, contribuindo para maior eficiência do extrato vegetal (Carvalho; Bergamasco; Gomes, 2018). Além disso, a melhor performance do extrato fresco sugere que o processamento de secagem pode ter promovido degradação parcial de metabólitos secundários responsáveis pela atividade antibacteriana, reduzindo sua eficácia.

No entanto, a análise estatística realizada por meio do teste de Tukey demonstrou ausência de diferença significativa entre os tratamentos com extrato etanólico *in natura*, extrato seco e hipoclorito de sódio a 75% (Tabela 3). Esse

resultado indica que, apesar das diferenças numéricas observadas entre as médias de absorvância, tais variações não foram suficientes para caracterizar superioridade estatística entre os tratamentos nas condições experimentais avaliadas.

Tabela 3. Valores médios de absorvância encontrados na comparação entre os diferentes compostos de *Euphorbia tirucalli* e o hipoclorito

Tratamento	Absorvância
Etanol 75% aveloz <i>in natura</i>	276,00 A
Etanol 75% aveloz seco	475,20 A
Hipoclorito 75%	372,75 A

As letras iguais indicam que não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Dessa forma, conclui-se que os compostos formulados à base de *Euphorbia tirucalli* apresentaram desempenho antibacteriano comparável ao hipoclorito de sódio, evidenciando potencial de aplicação como alternativa ou agente complementar em processos de desinfecção de águas com potencial contaminação por efluentes. Em especial, o extrato etanólico *in natura* destacou-se numericamente como o mais eficiente, reforçando o potencial biotecnológico da espécie *Euphorbia tirucalli* no desenvolvimento de soluções naturais para tratamento de águas potencialmente contaminadas.

6. CONCLUSÃO

O presente estudo permitiu avaliar o potencial antibacteriano de compostos formulados à base de *Euphorbia tirucalli* sobre amostras de água superficial potencialmente contaminadas por efluentes, bem como investigar a influência do método de extração e da estabilidade físico-química desses compostos.

Os resultados demonstraram que a eficiência antimicrobiana foi diretamente influenciada pelo solvente utilizado, sendo os extratos etanólicos significativamente mais eficazes que os aquosos na redução de coliformes totais e *Escherichia coli*. Destacando-se os extratos etanólicos contendo *E. tirucalli* a 75%, nas formas *in natura* e seca, que apresentaram resultados promissores de absorbância.

As análises físico-químicas evidenciaram alterações progressivas de pH, condutividade elétrica e turbidez durante o armazenamento, indicando redução da estabilidade química dos extratos. Além disso, a elevada correlação entre absorbância e densidade microbiana ($R^2 = 0,9579$) confirmou a eficiência da espectrofotometria como método indireto para monitorar o crescimento bacteriano.

Embora os resultados evidenciem o potencial da *Euphorbia tirucalli* como agente antimicrobiano complementar para a desinfecção microbiológica de águas contaminadas, sua aplicação prática ainda depende de estudos sobre toxicidade, compostos bioativos, estabilidade química e viabilidade operacional.

Portanto, conclui-se que a *Euphorbia tirucalli*, especialmente em formulações etanólicas, apresenta potencial promissor como alternativa complementar para a desinfecção microbiológica de águas com potencial contaminação por efluentes, contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis voltadas ao saneamento ambiental.

Estudos futuros devem buscar isolar e identificar de maneira mais precisa os mecanismos responsáveis pela inativação bacteriana observada, permitindo diferenciar a contribuição específica da *Euphorbia tirucalli* em relação ao solvente empregado e ampliando o conhecimento sobre sua aplicação no tratamento microbiológico de águas e efluentes.

REFERÊNCIAS

ABDULGANI, I. **Tratamento eletroquímico de uma amostra real de água produzida utilizando o ânodo de Ti/IrO₂-Ta₂O₅ mediada pela produção de espécies de cloro ativo**. 2021. 55f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia do Petróleo) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/45882>. Acesso em: 16 fev. 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Atlas Esgotos: despoluição de bacias hidrográficas**. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/atlasesgotos/>. Acesso em: 5 maio 2025.

ALMEIDA, J, P. T. **Classificação de potabilidade de água em criação avícola através de indicadores de contaminação fecal (Escherichia coli, coliformes totais e enterococos)**. 2018. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), São Luiz, 2018. Disponível em: <https://repositorio.uema.br/jspui/handle/123456789/1074>. Acesso em 3 mai. 2026.

ALUKO, E. Ethanol-Based Extraction of Annatto (Bixa Orellana L.) and Characterization of the Bixin and Norbixin. **ACS Omega**, v. 9, n. 18, p. 18273–18277, 2024. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acsomega.3c10120>. Acesso em: 5 mai. 2026.

ALVES, J. A.; SIQUEIRA, A. P. C.; DORES, E. F. G. O.; BRUNO, L. C. G. S.; FANTIN-CRUZ, I. Presence of emerging and conventional contaminants in water sources in the city of Cuiabá (MT): potential sources and damages. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 27, p. e40, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.272220220057>. Acesso em: 12 abr. 2026.

ARRUDA, M. F.; ROSA, R. T.; ROSA, E. A. R.; CAMPELO, P. M. S.. Actividad antimicrobiana y toxicidad de látex de Euphorbia tirucalli L.(aveloz). **Revista Cubana de Plantas Medicinales**, v. 20, n. 4, p. 0-0, 2015. Disponível em: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1028-47962015000400012&script=sci_arttext. Acesso em: 17 abr. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9898:1987 – **Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Rio de Janeiro: ABNT, 1987. Disponível em: <https://www.bing.com/ck/a?!&p=6433ea5039f6c87aff3d19a9582902d2e07261e58218b1f51f017732969bbe3cJmldHM9MTc3ODM3MTIwMA&ptn=3&ver=2&hsh=4&fclid=38b9e5e0-392f-6709-1e30-f2c3388c6615&psq=ASSOCIA%20%87%20%83O+BRASILEIRA+DE+NORMAS+T%20%89CNICAS.+NBR+9898%3a1987+%e2%80%93+Preserva%20%a7%20%a3o+e+t%20%a9cnicas+de+amostragem+de+efluentes+l%20%adquidos+e+corpos+receptores.+Rio+de+Janeiro%3a+ABNT%2c+1987.%e2%80%8b&u=a1aHR0cHM6Ly9oZXhvbGFiLmNvbS5ici9kb3dubG9hZC9hcnF1aXZvL21lZGlhL3BvcnRhcmllhcy9uYnltOTg5OC5wZGY>. Acesso em: 25 mar. 2026.

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Brasil). **Farmacopeia Brasileira**. 6. ed. Brasília: ANVISA, 2019. v. 1.

BELTRAME, T. F.; BELTRAME, A. F.; LHAMBY, A. R.; PIRES, V. P. K. Wastewater, solid waste and environmental education: a discussion about the subject. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [S. l.], v. 20, n. 1, p. 283–294, 2016. DOI: 10.5902/2236117015827. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/15827>. Acesso em: 24 mai. 2025.

BERNARDES, J. V. A. **CINÉTICA DE FERMENTAÇÃO DE *Bacillus amyloliquefaciens* CEPA BIB 0129**. 2024. 57f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Química) – Universidade de Uberaba, Uberaba, 2024. Disponível em: <http://dspace.uniube.br:8080/jspui/handle/123456789/2966>. Acesso em: 16 mai. 2026.

BERNARDI, L. T. **Avaliação da atividade bactericida de microesferas de quitosana com nanopartículas de prata para a desinfecção de efluentes industriais**. 2019. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/11338/6163>. Acesso em: 23 mai. 2025.

BETIM, F. C. M.; SOUZA, S. W. BERGAMO, R. A. M.; DIAS, J. F. G. Estudo fitoquímico de *Euphorbia tirucalli* L. (avelós), atividade antimicrobiana e ensaios toxicológicos preliminares in vitro. **Revista Cubana de Plantas Medicinales**, [S.l.], v. 22, n. 3, p. 1–12, 2017. Disponível em: <https://revplantasmedicinales.sld.cu/index.php/pla/article/view/573/263>. Acesso em: 23 mai. 2025.

BETIM, F. C. M.; SOUZA, S. W.; BERGAMO, R. A. M.; DIAS, J. F. G. Estudo fitoquímico de *Euphorbia tirucalli* L. (avelós), atividade antimicrobiana e ensaios toxicológicos preliminares in vitro. **Revista Cubana de Plantas Medicinales**, [S. l.], v. 22, n. 3, 2017. Disponível em: <https://revplantasmedicinales.sld.cu/index.php/pla/article/view/573>. Acesso em: 16 fev. 2026.

BRASIL - Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução CONAMA nº 430**, de 13 de maio de 2011. Diário Oficial da União, Brasília, 13 maio 2011. Disponível em: https://www.suape.pe.gov.br/images/publicacoes/CONAMA_n.430.2011.pdf. Acesso em: 14 fev. 2026.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Manuais de microbiologia clínica**. Brasília, DF: Anvisa, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/servicosdesaude/manuais/manuais-de-microbiologia-clinica>. Acesso em: 16 abr. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Cuidados com a água**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, s.d. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/e/enchentes/cuidados-com-a-agua>. Acesso em: 18 abr. 2025.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Painel de Informações sobre Esgotamento Sanitário – SNIS**. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel/es>. Acesso em: 23 maio 2025.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº. 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Disponível em: https://www.ana.gov.br/portaldpnqa/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf?utm_source. Acesso em 16 mai. 2026.

BRASILEIRO, B. G.; PIZZIOLO, V.R.; RASLAN, D. S.; JAMAL, C. M.; SILVEIRA, D.. Antimicrobial and cytotoxic activities screening of some Brazilian medicinal plants used in Governador Valadares district. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 42, p. 195-202, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-93322006000200004>. Acesso em: 16 mai. 2026.

BRANDÃO FILHO, C. A.; SIQUEIRA, I. S.; FILHO, E. P. S.; SILVA, K. O.; IBIAPINA, H. N. S. O tratamento de água com hipoclorito e a prevenção de doenças. In: FIGUEIREDO, S. C. G.; FERREIRA, C. M.; QUEIROZ, E. C.; OLIVEIRA, H. R. N. (org.). **VIII ConCIFA: Florestando e Florescendo: diálogos sobre o clima e a saúde na Amazônia – 2024**. Belo Horizonte: Poisson, 2024. p. 21–24. Disponível em: [978-65-5866-402-4.cap-libre.pdf](#). Acesso em 22 mai. 2026.

BURGOS, T. N.; SCHUOFF, P. A.; LOPES, A. M.; LIMA, N. R.; PELAYO, J. S. Água de consumo humano proveniente de poços rasos como fator de risco de doenças de veiculação hídrica. **Revista de Ciências da Saúde**, São Luís, v.16, n.1, p. 34-38, jan-jun, 2014. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/74567258/3404-10569-1-PB.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2026.

CARVALHO, M. T.; BERGAMASCO, R.; GOMES, R. G. MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS: UTILIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS NA AGROINDÚSTRIA: Utilização de subprodutos na agroindústria. **Uningá Review**, [S. l.], v. 33, n. 1, p. 66–84, 2018. Disponível em: <https://revista.uninga.br/uningareviews/article/view/1534>. Acesso em: 16 mai. 2026.

CARVALHO, G. L.; SIQUEIRA, Q. E. Qualidade da Água Do Rio Meia Ponte no Perímetro Urbano do Município de Goiânia - Goiás. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, v. 2, n. 1, 2011. DOI: 10.5216/reec.v2i1.12293. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/reec/article/view/12293>. Acesso em: 18 abr. 2026.

CARVALHO-CASTRO, G. A. *et al.* Avaliação da eficiência antibacteriana de extrato de *Lentinula edodes* e da solução aquosa do látex de *Euphorbia tirucalli* frente à bactéria *Streptococcus agalactiae*: estudos preliminares. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações, v. 16, n. 3, Edição Especial, p. 1–10, 2018. Disponível em: <http://periodicos.unincor.br/index.php/revistaunincor/article/view/5610/10951645>. Acesso em: 23 mai. 2025.

CUNHA, A. H. N.; VIEIRA, J. A. Detecção da bactéria *Echerichia coli* em águas residuárias empregando sistema em fluxo por turbidimetria. **Revista Mirante** (ISSN 1981-4089), v. 7, n. 2, p. 184-193, 2014. Disponível

em:<https://revista.ueg.br/index.php/mirante/article/view/3198>. Acesso em: 16 mai. 2026.

DIOGO JÚNIOR, J. P. **Simulação do processo de inativação de coliformes totais e E.coli de efluente secundário por UV/H₂O₂**. 2020. 1 recurso online (65 p.) Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia, Limeira, SP. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1161399>. Acesso em: 16 fev. 2026.

DUARTE, ALINE SOUZA ; MENEZES, TICIANE BRAGA; GALÚCIO, VANESSA COSTA ALVES. PESQUISA DE COLIFORMES TOTAIS E TERMOTOLERANTES NO RIO GUAMÁ NO ENTORNO DO VER-O-PESO NO MUNICÍPIO DE BELÉM-PA. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, [S. l.], v. 9, n. 5, p. 3685–3698, 2023. DOI: 10.51891/rease.v9i5.10086. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/10086>. Acesso em: 3 maio. 2026.

FERREIRA, A. C. F. **Remoção de matéria orgânica de efluente de carcinicultura por meio de tratamento físico-químico (coagulação-floculação) e biológico (lodo ativado)**. 2021. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/45777>. Acesso em: 16 fev. 2026.

FOLHA, E. V. **Aspectos teóricos e práticos sobre a qualidade da água**. 2024. 42 f. Monografia (Licenciatura em Ciências Naturais) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Avançado Catalão, Catalão, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/4781>. Acesso em: 3 maio. 2026.

FRIAS, D. F. R.; PINEHIRO, R. S. B.; ÁMERICO-PINHEIRO, J. H. P.; BUOSI, A. L. B. Variação espaço-temporal da concentração de Escherichia coli em águas superficiais e a saúde pública. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 8, n. 60, p. 77-86, 2020. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/82076741/2204.pdf>. Acesso em: 3 maio. 2026

GASPAR, S. A.; MUSMANNO, P. G.; BELLIZZI, G. M.; KATHAR, K. R.; VARRICCHIO, M. T.; VARRICCHIO, M. C. B. N.; PYRRHO, A. S.; BRIOSO, P. S. T.; SILVA, S. . Environmental and Economic Values of salt tolerance. Euphorbia tirucalli: Phytoremediation potential. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 10, n. 6, p. 27-39, 2023. Disponível em: [5IJAERS-05202328-Environmental-libre.pdf](#) . Acesso em 3 mai. 2026.

INC., M. A. E. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016. E-book. p.ii. ISBN 9788580555240. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788580555240/>. Acesso em: 16 fev. 2026.

JANUTH, N. V.; SILVA, D. O.; BARBOSA, D. A.; DUARTE, G. C. S.; LIMA, G. R. Q.; OLIVEIRA, N. M. B.; CAVATI, N. J. D.; CHARIFE, R. S.; SANTOS, S. S.; DANTAS FILHO, J. V. Campanha do hipoclorito de sódio na purificação de água e alimentos: ações extensionistas na Aldeia Ikolen do Povo Gavião-Ikolen. **I CONECTA AFYA**, v. 1, n. 1, p. 128–132, 2025. Disponível em:

<https://jiparana.emnuvens.com.br/conectas/article/view/1676/1111>. Acesso em 23 mai. 2026.

KOWALSKI, L.; SILVA, A. D.; PAGNO, A. R.; PIANA, M. . Atividade Antimicrobiana de Flavonoides: uma Revisão de Literatura. **Revista Interdisciplinar em Ciências da Saúde e Biológicas**, v. 4, n. 1, p. 51-65, 29 ago. 2020. Disponível em: <https://revistas.san.uri.br/revistas/index.php/ricsb/article/view/119>. Acesso em: 11 abr. 2026.

KULKARNI, S.; NIKOLOV, Z. Process for selective extraction of pigments and functional proteins from *Chlorella vulgaris*. **Algal Research**, v. 35, p. 185-193, nov. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211926418301425>. Acesso em: 5 mai. 2026.

LIMA, J. O. G.; FRANÇA, A. M. M.; LOIOLA, H. G. Implicações hidroquímicas da condutividade elétrica e do íon cloreto na qualidade das águas subterrâneas do semiárido cearense. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 2, p. 279-292, 2013. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/471>. Acesso em: 16 mai. 2026.

MACHADO, M. M. Perfil fitoquímico e avaliação dos principais efeitos biológicos e imunológicos in vitro da *Euphorbia tirucalli* L. 2007. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/5893/MACHADO%2C%20MICHEL%20MANSUR.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2025.

MADIGAN M. T.; MARTINKO, J. M.; BENDER, K. S.; et al. **Microbiologia de Brock**. 14. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2016. E-book. p.41. ISBN 9788582712986. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788582712986/>. Acesso em: 18 abr. 2025.

MARTINS, F. E. C. **Atividade Biológica Da Goma Do Cajueiro E Sua Degradação Em Modelo De Infecção Por E.Coli Produtora Da Toxina Da Shiga O157:H7**. 2024. Trabalho de conclusão de curso (Biomedicina) - Universidade Federal do Delta do Parnaíba, 2024. Disponível em: <http://dspace.ufdpar.edu.br/jspui/handle/prefix/808>. Acesso em 16 mai. 2026.

MEDEIROS, R. C.; DANIEL, L. A. Cloração de esgoto sanitário: variação de cloro residual e o uso de parâmetros facilmente mensuráveis na indicação de breakpoint. **Revista DAE**, n. 206, p. 87-98, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/DAE.2016.030>. Acesso em: 16 fev. 2026.

MELO, M. E.; MORAIS, M. O. S.; MARTINS, C. P. Análise físico-química e bacteriológica de corpo hídrico localizado próximo ao cemitério de um município do extremo sul catarinense. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, [S. l.], v. 11, n. 2, 2023. DOI: 10.66205/rvbma.v11i2.1451. Disponível em: <https://www.revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/1451>. Acesso em: 6 mai. 2026.

MEYER, S. T.. O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 10, n. 1, p. 99–110, jan. 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-311X1994000100011>. Acesso em 16 fev. 2026.

NARDY, J. F.; JULIANO, G. P.; FERNANDA, R.; JOSÉ, P. A. N. P.; GERMANO, F. B.; OTÁVIO, A. M.. Estudo espectrofotométrico de turbidez em água para as indústrias de bebidas e alimentos de origem animal. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal: RBHSA**, v. 14, n. 3, p. 1-12, 2020. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8081651>. Acesso em: 16 mai. 2026.

NOBRE, R. K. M. **Desenvolvimento e validação de método analítico para a quantificação de ofloxacino colírio por turbidimetria**. 2012. 42f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Farmácia-Bioquímica) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Araraquara, Araraquara, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/9c250a99-461b-4f6b-a058-3a31eb4c9d25>. Acesso em: 16 mai. 2026.

NOE, M. C.; SILIANO, P. R. Padronização de metodologia para desinfecção microbiana do chorume. **Saúde em Foco**, Edição nº 08, p. 54–60, 2016. Disponível em: https://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2018/06/006_desinfec_chorume.pdf. Acesso em: 24 mai. 2025.

OLIVEIRA, M. M.; NUNES, B. de A.; SILVA, H. J. N. da. Potencial aplicação farmacológica de Euphorbia tirucalli L. no tratamento de infecções fúngicas. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, [S. l.], v. 18, n. 7, p. e19310, 2025. DOI: 10.55905/revconv.18n.7-135. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/19310>. Acesso em: 16 fev. 2026.

ORLANDA, J. F. F.; VALE, V. V.. Análise fitoquímica e atividade fotoprotetora de extrato etanólico de Euphorbia tirucalli Linneau (Euphorbiaceae). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 4, p. 730–736, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1983-084X/14_012. Acesso em: 23 mai. 2025.

PACHECO, M. C.; ALMEIDA, G. S.; SANTOS, V. Z.; GASPARIN, F. P.; RIES, L. A. S. Estudo preliminar da remoção de amoxicilina presente em águas empregando biochar ativado oriundo do resíduo da poda do Eucalipto. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. e76882, 2025. DOI: 10.34188/bjaerv8n1-039. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/76882>. Acesso em: 24 mai. 2025.

PEREIRA, J. N.; VENTURA, P. A. O.; NOGUEIRA, J. R. S.; GALDOS-RIVEROS, A. C. Triagem fitoquímica e atividade antibacteriana dos extratos das folhas de Brosimum gaudichaudii Trécul. (Moraceae). **Revista Científica Área da Saúde Fasipe**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 89-99, 2019. Disponível em: <https://revistas.fasipe.com.br/index.php/RCAreaSaude/article/view/32/38>. Acesso em: 16 mai. 2026.

QUEIROZ, A. Q. A.; MACIEL, G. S. A.; MELO, B. L.; ALVES, L. B.; CAVALCANTE, R. F. Análise de desempenho do uso de tecnologia eletrolítica no tratamento de efluentes domésticos:: Uma revisão sistemática da literatura. **Revista Semiárido De Visu**, [S. l.], v. 12, n. 3, p. 1559–1572, 2024. DOI: 10.31416/rsdv.v12i3.952.

Disponível em: <https://semiaridodevisu.ifsertao-pe.edu.br/index.php/rsdv/article/view/952>.

Acesso em: 23 mai. 2025.

RIBEIRO JÚNIOR, R.S. **Desinfecção de efluentes provenientes de estação de tratamento de esgoto com dióxido de cloro**. 2018. 74f. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas (FT/UNICAMP), Limeira, 2018. Disponível em:

<https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=481262&tipoMidia=0>.

Acesso em 23 mai. 2025.

RIBEIRO, E. A.; MARIANO, T. K.; PEREIRA, V. M.; SUGAWARA, A. M. Aveloz - *Euphorbiatirucalli* : Toxicidade da planta. **Brazilian Journal of Natural Sciences**, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 17, 2019. DOI: 10.31415/bjns.v2i1.49. Disponível em:

<https://www.bjns.com.br/index.php/BJNS/article/view/49>. Acesso em: 17 abr. 2025.

ROCHA, B. R.; LUCENA, J. C. B. .; PIRES, R. C. S. .; LIMA, M. M. S. . Novas Tecnologias Para Tratamento de Água e Esgoto. **Epitaya E-books**, [S. l.], v. 1, n. 50, p. 219-232, 2023. DOI: 10.47879/ed.ep.2023922p219. Disponível em:

<https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/article/view/700>. Acesso em: 7 fev. 2026.

ROCHA, F. A. G.; DANTAS, Leandro Ícaro Santos. ATIVIDADE ANTIMICROBIANA IN VITRO DO LÁTEX DO AVELOZ (*Euphorbia tirucalli* L.), PINHÃO BRAVO (*Jatropha mollissima* L.) E PINHÃO ROXO (*Jatropha gossypifolia* L.) SOBRE MICRORGANISMOS PATOGÊNICOS. **HOLOS**, [S. l.], v. 4, p. 3–11, 2010. DOI: 10.15628/holos.2009.339. Disponível em:

<https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/339>. Acesso em: 16 abr. 2025.

ROCHA, J. C. N. **Desinfecção de efluente sanitário anaeróbio com cloro** : formação de trihalometanos e inativação microbiana. 2023. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/49307>. Acesso em 16 de mai. 2026.

ROSALEM, M. T.; LOURENÇO, A. B. A. **Manual de microbiologia**. São Paulo: Centro Universitário São Camilo, Setor de Publicações, 2023. 37 p. Disponível em: https://saocamilo-sp.br/_app/views/publicacoes/outraspublicacoes/Manual%20de%20Microbiologia.pdf . Acesso em: 18 abr. 2025.

SA, L. S. AS PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE BACTÉRIAS GRAM-POSITIVAS E GRAM-NEGATIVAS, IMPLICAÇÕES ESTRUTURAIS, FUNCIONAIS E CLÍNICAS – UMA REVISÃO NARRATIVA. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 1–10, 2026. DOI: 10.51891/rease.v12i1.24066. Disponível em:

<https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/24066>. Acesso em: 12 abr. 2026.

SANTOS, G. B.; SOUZA, E. B.; SOUZA, J. J.; INVENÇÃO, F. S.; SOBRINHO, É. L.; SOUSA, L. R. O. Bioquímica ambiental: as macrófitas aquáticas como fitorremediadoras e bioindicadoras de poluentes. **Revista Macambira**, [S. l.], v. 4, n. 2, p. 1–20, 2023. DOI: 10.35642/rm.v4i2.461. Disponível em: <https://revista.lapprudes.net/index.php/RM/article/view/461>. Acesso em: 14 fev. 2026.

SANTOS, R. R.; CRIPPA, R. A.; ÁZARA, M. S.; MATOS, M. P.; SINISCALCHI, L. A. B.; ASSEMAN, P. P. Análise comparativa das características físico-químicas do efluente universitário e do esgoto sanitário de Lavras/MG: um estudo de caso. **Revista DAE**, v. 73, n. 250, p. 01-13, 2025. Disponível em: https://www.revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_250_n_2326.pdf. Acesso em: 17 fev. 2026.

SANTOS, T. S.; ALMEIDA, . F.; LIMA, F. E. S.; GONÇALVES, E. P. A.I; GAVAZZA, S. **Avaliação espacial da qualidade da água do rio Bitury (PE) com base no IQA e nos impactos antrópicos**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 26., 2025, Vitória (ES). Anais [...]. Vitória: ABRHidro, 2025. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=17277>. Acesso em: 12 abr. 2026.

SÁTIRO, L. N.; ROQUE, N.. A família Euphorbiaceae nas caatingas arenosas do médio rio São Francisco, BA, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, n. 1, p. 99–118, jan. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062008000100013>. Acesso em: 17 fev. 2026.

SILVA, A. K. Q.; MATAMOROS, E. P.; SILVA, A. O.; LICHTSON, J. E.; DIAS DA SILVA, R. A.; SOUZA, A. F.; ZUMBA, F. M.; WATSON, L. O.; MEDEIROS, H. R.; SOUSA, A. S.; PAIVA, J. A.; ALMEIDA, L. M. S.; MARTINS, L. A. M. Análise bacteriológica dos efluentes industriais tratados com biomassa vegetal biodegradável. **Observatorio de la Economía Latinoamericana**, v. 23, n. 8, 2025. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10537554>. Acesso em: 14 fev. 2026.

SILVA, J. S. **Estudo in vitro da ação antibacteriana da Euphorbia tirucalli Linneau em microrganismos isolados de dermatopatias de cães e gatos**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Medicina Veterinária) – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Areia, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/12582>. Acesso em: 18 abr. 2025.

SILVA, S. S.; FARIAS, V. N. C.; RODRIGUES, J. C.; PAIVA, M. V. C.; SILVA, J. R. L.; SANTOS, B. D. B. Conflitos em torno de um reservatório urbano com capacidade para abastecimento público no semiárido do Estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil. **Rev. Bras. Gest. Amb. Sustent.** [online]. 2023, vol. 10, n. 25, p. 611-631. ISSN 2359-1412. DOI: 10.21438/rbgas(2023)102504. Disponível em: <https://revista.ecogestaobrasil.net/v10n25/v10n25a04.html>. Acessado em 12 abr. 2026.

SILVA, L. F. M. **DESEMPENHO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO E IMPACTOS DE SEUS EFLUENTES EM CORPOS DE ÁGUA RECEPTORES EM MINAS GERAIS**. 2020. 244 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de

Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020. Disponível em:
<https://repositorio.ufmg.br/items/98144ef4-61df-4da4-a382-63ca69fbc7a0>. Acesso em: 22 mai. 2026.

SOARES, L. A.; SANTANA, L. C. L. A. Avaliação preditiva do crescimento in vitro de bactérias patogênicas sob diferentes condições de pH, temperatura e concentrações de cloreto de sódio e extratos de resíduos de tamarindo. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 9, n. 7, p. e162973858, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i7.3858. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/3858>. Acesso em: 13 abr. 2026.

SOARES, T. L. **Composição e variação espaço-temporal das características dos esgotos sanitários em Maceió-AL**. 2025. 167 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2022. Disponível em:
<http://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/123456789/16022>. Acesso em: 17 fev. 2026.

SOMMAGGIO, L. R. D. **Toxicidade de efluentes de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) antes e após desinfecção por processos oxidativos avançados**. 2021. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, 2021. Disponível em:
<http://hdl.handle.net/11449/204750>. Acesso em: 16 fev. 2026.

SOUZA, M. D. T. **Projeto de um sedimentador a ser implementado em uma estação de tratamento de efluentes**. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/123456789/9653>. Acesso em: 14 fev. 2026.

SOUSA, F. H. F. **AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, MICROBIOLÓGICA E QUANTIFICAÇÃO DE METAIS EM ÁGUAS SUPERFICIAIS NO RIBEIRÃO TAQUARUÇU GRANDE, PALMAS-TO**. 2022. 47 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11612/3796>. Acesso em: 22 mai. 2026.

SOUSA, J. C.; SANTOS, A. L. R.; SOUZA, C. R.; RODRIGUES, E. M. Avaliação da contaminação microbiológica em curso d'água intermitente no Parque Nacional de Jericoacoara, Ceará: influência dos efluentes provenientes de estação de tratamento de esgoto. **Revista Principia**, [S. l.], v. 62, 2025. DOI: 10.18265/2447-9187a2024id8512. Disponível em:
<https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/8512>. Acesso em: 22 mai. 2026.

TAVARES, K. S.; MOREIRA, R. M. G. **Manual técnico – uma revisão crítica da literatura e propostas de aprimoramento da aplicação do peróxido de hidrogênio no tratamento de efluentes domésticos**. 24 f. Trabalho Final de Curso (Especialização em Gestão da Inovação) – Instituto Federal do Espírito Santo,

Campus Serra, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/items/3bc152b1-3cdd-4336-9283-b96f42bd32c0>. Acesso em: 14 fev. 2026.

TEIXEIRA, C. M.; GIACOMINI ALLEMANY DOS SANTOS, G.; TEIXEIRA RIOS, S.; SILVA OLIVEIRA, C.; NATALLOS CASSEANO DE SOUSA, J.; ALMEIDA MUNIZ, F.; DO NASCIMENTO LEITÃO, N.; VICTORIA MURATORI PITOMBEIRA, A.; SALES DA COSTA, T.; CASIMIRO PEDROSA, G.; MARIA DA SILVA, G.; PEREIRA IBIAPINA, I.; RONEY SOUSA SURIANO, F.; MARIA BEZERRA SALES, N. POTENCIAL ANTIMICROBIANO DO LÁTEX DA EUPHORBIA TIRUCALLI: UMA NOVA PERSPECTIVA EM ANTIBIÓTICOS. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, [S. l.], v. 6, n. 10, p. 3491–3504, 2024. DOI: 10.36557/2674-8169.2024v6n10p3491-3504. Disponível em: <https://bjih.s.emnuvens.com.br/bjih/article/view/4039>. Acesso em: 23 mai. 2025.

TENÓRIO JÚNIOR, C. P. **Desenvolvimento de soluções sustentáveis: método para tratamento de água em comunidades rurais por meio de tecnologias sociais**. 2024. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química Tecnológica e Industrial) – Instituto de Química e Biotecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2024. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/123456789/14897>. Acesso em: 29 jun. 2026.

TORRES, D. M. TRATAMENTO DE EFLUENTES E PRODUÇÃO DE ÁGUA DE REÚSO PARA FINS AGRÍCOLAS. **HOLOS**, [S. l.], v. 8, p. 1–15, 2019. DOI: 10.15628/holos.2019.9192. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/9192>. Acesso em: 22 maio. 2025.

TZU, S. **A ARTE DA GUERRA**. Tradução de José Sanz. 67. ed. Rio de Janeiro: Record, 2019. 126 p. ISBN 978-85-01-09250-2.

VALE, V. V.; ORLANDA, J. F. F. Atividade antimicrobiana do extrato bruto etanólico das partes aéreas de *Euphorbia tirucalli* Linneau (Euphorbiaceae). **Scientia Plena**, [S. l.], v. 7, n. 4, 2011. Disponível em: <https://scientiaplena.org.br/sp/article/view/341>. Acesso em: 20 abr. 2025.

VERMELHO, A. B. **Práticas de Microbiologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2019. E-book. p.14. ISBN 9788527735575. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788527735575/>. Acesso em: 16 abr. 2025.

WASIM, N.; GASPAR, S. Á.; BOLOGNANI, F. A.; VARRICCHIO, M. T.; VARRICCHIO, M. C. B. N.; CASTELO BRANCO, M. T. L.; DA SILVA, S.; PYRRHO, A. S. POTENCIAL DO HUD DE EUPHORBIA TIRUCALLI COMO BIOINDICADOR EM PESQUISAS DE TECNOLOGIA AMBIENTAL. **ARACÊ**, [S. l.], v. 7, n. 7, p. 39953–39963, 2025. DOI: 10.56238/arev7n7-278. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/6797>. Acesso em: 22 abr. 2026.

DECLARAÇÃO

Foi utilizada inteligência artificial generativa do Google Gemini para a criação de uma imagem ilustrativa no trabalho, bem como o ChatGPT da OpenAI para revisão gramatical e aprimoramento da coesão textual.