

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
ENGENHARIA FLORESTAL

BÁRBARA MARIA LINS MELO

TRATAMENTO PARCIAL DA ÁGUA COM TANINO EXTRAÍDO DA CASCA DO
EUCALIPTO: UMA PROPOSTA SUSTENTÁVEL, INTEGRADA E ALTERNATIVA

Rio Largo - AL
2025

BÁRBARA MARIA LINS MELO

**TRATAMENTO PARCIAL DA ÁGUA COM TANINO EXTRAÍDO DA CASCA DO
EUCALIPTO: UMA PROPOSTA SUSTENTÁVEL, INTEGRADA E ALTERNATIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso - TCC,
apresentado ao curso de graduação de
Engenharia Florestal do Campus de
Engenharia e Ciências Agrárias – CECA, da
Universidade Federal de Alagoas – UFAL,
como requisito para obtenção do título de
Engenheira Florestal.

Orientadora: Profa. Dra. Regla Toujaguez La
Rosa Massahud

Coorientadora: Profa. Dra. Vânia Aparecida
de Sá

Rio Largo - AL
2025

Catlogação na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias

Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 – 1512

M528t Melo, Bárbara Maria Lins.

Tratamento parcial da água com tanino extraído da casca do eucalipto: uma proposta sustentável, integrada e alternativa. / Bárbara Maria Lins Melo. – 2025.

46 f.: il.

Orientadora: Regla Toujaguez La Rosa Massahud

Coorientadora: Vânia Aparecida de Sá

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) –
Graduação em Engenharia Florestal, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias,
Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2025.

Inclui bibliografia

1. Compostos fenólicos. 2. Resíduos florestais. 3. Coagulante natural. 4.
Tratamento de água. 5. Sustentabilidade. I. Título.

CDU: 630*2

FOLHA DE APROVAÇÃO

BÁRBARA MARIA LINS MELO

Tratamento parcial da água com tanino extraído da casca do Eucalipto: uma proposta sustentável, integrada e alternativa.

Trabalho de Conclusão de Curso - TCC apresentado à Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias - CECA, como pré-requisito para obtenção do grau de Bacharel(a) Engenheiro(a) Florestal.

Data de Aprovação: 06 / 11/ 2025.

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **REGLA TOUJAGUEZ LA ROSA MASSAHUD**
Data: 07/11/2025 11:17:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.(a) Dr.(a) Regla Toujaguez La Rosa Massahud.
Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias – CECA
(Orientadora)

Documento assinado digitalmente
 **VANIA APARECIDA DE SA**
Data: 23/11/2025 10:53:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.(a) Dr.(a) Vânia Aparecida de Sá.
Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias – CECA
(Coorientadora)

Documento assinado digitalmente
 **ANNA CAROLINA DE ALMEIDA ANDRADE**
Data: 10/11/2025 08:10:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.(a) Dr.(a) Anna Carolina de Almeida Andrade.
Universidade Federal de Sergipe – UFS.

Documento assinado digitalmente
 **REGIANE GODOY DE LIMA**
Data: 07/11/2025 12:03:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.(a) Dr.(a) Regiane Godoy de Lima.
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS.

AGRADECIMENTOS

Certa vez ouvi que ninguém se forma ou adquire conhecimento em um processo individual, ao adentrar na Universidade tive a certeza de que somos frutos de uma coletividade, da construção de propósitos que se complementam. Diante desta consciência, agradeço primeiramente à minha ancestralidade afro-indígena, porque me faz compreender que meu caminho acadêmico também é instrumento de posicionamento histórico, social e científico, enquanto mulher negra.

Agradeço a minha mãe que trabalhou arduamente para garantir que eu pudesse estudar dignamente e nunca mediu esforços para realizar junto a mim, essa conquista em meio a tantos obstáculos. Ao meu pai, aos meus irmãos Rony e Diego, e à tia Denise (em memória) agradeço por sempre terem acreditado que eu era capaz em tudo que me propusesse rumo à formação acadêmica.

À Prof^a. Dr^a Regla Toujaguez La Rosa Massahud, minha orientadora, expresso a minha profunda admiração pela excelente pesquisadora que é, no aspecto da multidisciplinaridade, além da minha gratidão por ter pacientemente me ensinado a escrever academicamente e mostrado o caráter construtivo e político da extensão na pesquisa. Para minha coorientadora Prof^a. Dr^a. Vânia Aparecida de Sá também manifesto minha admiração genuína, por ser uma excelente pesquisadora no quesito de inovação tecnológica na área florestal, e gratidão por sempre ter confiado nas minhas propostas de pesquisa, além de me incentivar a dar seguimento à carreira acadêmica.

Meus agradecimentos também se estendem aos laboratórios, grupos de estudos e pesquisadores parceiros que contribuíram para que este trabalho pudesse ser realizado— Prof^o. Dr^o. Euzébio Goulart e o técnico Aldir; GEPFLONM-UFRN, em especial aos estudantes Denys, Kaio e Paula, equipe coordenada pela professora Tatiane Azevêdo; a toda a equipe Neabi-CECA, ao LPF (Laboratório de Produtos Florestais), ao engenheiro Janiedson e aos estudantes de graduação Arryson e José Silva, além dos meus companheiros de pesquisa e amigos Elânio Feitosa e Ana Karine.

Reconheço também que minha trajetória antes e durante a graduação contou com professores especiais que me motivaram e me inspiraram diretamente, do ensino fundamental ao superior- Goreth e Thiago Coke, professores de matemática que desempenharam um papel fundamental no meu desenvolvimento, além dos professores Weider e Evan Marinho; seguidos

dos meus professores e amigos Eduardo Pantaleão, Nildo Barbosa e Jason Santana que me ajudaram a evoluir com a linguagem e escrita; e por fim aos professores Juan Pablo Molinas, Viviane Dalbon e Alexsandro de Almeida, os quais pude aprender através da pesquisa na Universidade.

Por fim, agradeço ao meu companheiro Vitor, à comunidade de candomblé a qual pertenco e a todos os meus amigos pela paciência, apoio e encorajamento constantes, em especial à Geiza e Lionaldo, que sempre me acompanharam ao longo desta jornada acadêmica.

RESUMO

A pesquisa analisou o potencial do tanino extraído da casca de eucalipto (*Eucalyptus* spp.) como coagulante natural no tratamento parcial da água, visando reduzir a turbidez e compreender as variações de pH decorrentes no processo. O extrato vegetal foi obtido por extração aquosa e submetido à cationização, processo que confere carga positiva às moléculas e potencializa sua ação coagulante. Os ensaios foram realizados com amostras de água de alta turbidez, aplicando concentrações de 150 mg/L e 200 mg/L por meio do equipamento Jar Test. Os resultados indicaram que a concentração de 200 mg/L apresentou maior eficiência na remoção de partículas suspensas, enquanto o pH variou conforme o tempo e a dose aplicada. Embora os valores não tenham atingido o padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888/2021, o uso do tanino mostrou-se eficiente na diminuição da turbidez e neutralização controlada da água. O coagulante proveniente do tanino destaca-se como uma promissora alternativa economicamente viável, ecologicamente adequada e socialmente acessível. Deste modo, empregar a casca de eucalipto na obtenção de taninos revela-se uma prática sustentável que transforma resíduos florestais em insumos de valor agregado, estimulando o avanço de tecnologias limpas e de baixo custo.

Palavras-chave: compostos fenólicos; resíduos florestais; coagulante natural; tratamento de água; sustentabilidade.

ABSTRACT

The research analyzed the potential of tannin extracted from eucalyptus bark (*Eucalyptus spp.*) as a natural coagulant for partial water treatment, aiming to reduce turbidity and understand the pH variations that occur during the process. The plant extract was obtained through aqueous extraction and subjected to cationization, a process that imparts positive charges to the molecules and enhances their coagulating action. The tests were conducted using highly turbid water samples, with concentrations of 150 mg/L and 200 mg/L applied through the *Jar Test* apparatus. The results indicated that the 200 mg/L concentration showed higher efficiency in removing suspended particles, while pH varied according to time and dosage. Although the values did not reach the potability standards established by Ordinance GM/MS No. 888/2021, the use of tannin proved effective in reducing turbidity and promoting controlled neutralization of the water. The tannin-based coagulant stands out as a promising, economically viable, ecologically appropriate, and socially accessible alternative. Thus, employing eucalyptus bark for tannin extraction represents a sustainable practice that transforms forest residues into value-added inputs, fostering the development of clean and low-cost technologies.

Keywords: phenolic compounds; forest residue; natural coagulant; water treatment; sustainability.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
2. Objetivos.....	3
2.1 Objetivos gerais.....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3. Justificativa.....	4
4. Referencial Teórico.....	5
4.1 Taninos e estrutura química.....	5
4.2 Tipologia dos taninos vegetais.....	5
4.3 Histórico de usos e aplicações.....	6
4.4 Coagulantes naturais e sintéticos.....	6
4.5 Problemas associados à qualidade da água e parâmetros estabelecidos.....	7
4.6 Tanino, um coagulante natural para tratar a água.....	9
5. Material e Métodos.....	10
5.1 Coleta do material.....	10
5.2 Processamento das cascas.....	10
5.3 Quantificação do Teor de Taninos Condensados (TTC)	11
5.4 Extração em grandes quantidades.....	13
5.4 Cationização.....	15
5.6 Aplicação do tanino para tratamento de água- reação com o pH e a turbidez.....	17
5.7 Análise estatística.....	18
6. Resultados e Discussão.....	20
6.1 Coleta do material e processamento das cascas.....	20
6.2 Quantificação do Teor de Taninos Condensados (TTC)	21
6.3 Extração em grandes quantidades e cationização.....	23
6.4 Ensaio de coagulação e floculação para o tratamento de água e análise estatística...25	
7. Conclusão.....	33
8. Referências.....	34

1. INTRODUÇÃO

A água é uma riqueza natural que garante a vida na Terra. Tal recurso é responsável pelo equilíbrio dos ecossistemas, e exerce um papel cíclico estratégico nas atividades sociais e produtivas. Todas as necessidades humanas dependem de forma direta ou indireta da disponibilidade de água com qualidade de uso. Em contrapartida, como Pavanelli (2001) expõe que, o avanço da urbanização e das atividades industriais tem contribuído para a degradação dos corpos hídricos. Posto isto, compreende-se a necessidade da implementação da conservação e uso sustentável da água, associado a mais métodos de tratamentos eficientes e ambientalmente seguros.

Em algumas regiões, sobretudo nas que carecem de infraestrutura de saneamento, ainda predominam tecnologias de alto custo ou de difícil implementação, o que reforça a importância de se desenvolver alternativas simples, acessíveis e sustentáveis. Segundo Gomes *et al.* (2017) a concepção do uso de formas econômicas e biodegradáveis para o tratamento de águas superficiais podem fornecer aporte para o saneamento ambiental, ao atuar como instrumento de melhoria da saúde pública e redução de impactos negativos sobre o meio ambiente, causado pela aplicação de coagulantes poluentes.

A portaria GM/MS Nº 888, de maio de 2021, dispõe de procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Entre os parâmetros estabelecidos, estão o pH e turbidez, cujo presente trabalho avalia as reações por meio da adição de tanino, um coagulante natural. Nos últimos anos, o emprego de taninos condensados extraídos de cascas de árvores tem se mostrado promissor para o tratamento de água, como exemplo se tem o estudo conduzido por Silva (2024), o qual verificou-se extratos tânico obtidos de espécies como *Acacia mangium* Willd. e *Terminalia catappa* L.

De acordo com Poyer e Shaefer (2014) os compostos tânico são estudados na classe de flavonoides e são encontrados em plantas e vegetais. Esta afirmação evidencia que problemas de ordem ambiental podem ser mitigados por manipulações e uso dos recursos do próprio meio ambiente e que melhorar técnicas também é uma forma de promover tecnologia limpa e acessível, com raízes no conhecimento e necessidades populares e por comprovações quando submetidas a métodos científicos.

No cenário de produção e extrativismo, o SNIF (Sistema Nacional de Informações Florestal) não dispõe de dados sobre o direcionamento ou aproveitamento de resíduos

madeireiros como a casca. Perante a ausência de informações a respeito da destinação dos resíduos, o aproveitamento do material para a extração de tanino, afim de, formular coagulantes, quer seja para comercialização destes ou mesmo para uso nos próprios processos e operações na indústria, reduz o impacto ambiental do setor madeireiro e agrega valor econômico a um resíduo de grande volume e baixo custo de obtenção.

Nesse contexto, o aproveitamento do tanino extraído da casca de eucalipto como coagulante natural para o tratamento parcial da água tem potencial para constituir uma estratégia integrada de inovação tecnológica e sustentabilidade. Essa abordagem combina a valorização de resíduos florestais com a busca por métodos ambientalmente corretos e economicamente acessíveis. Assim, este trabalho tem como propósito avaliar a eficiência do tanino obtido da casca do eucalipto na diminuição de turbidez e na variação do pH da água tratada, contribuindo para o desenvolvimento de soluções ecológicas voltadas ao uso seguro da água.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

O objetivo da pesquisa foi avaliar a eficácia do uso de extratos obtidos da casca do eucalipto, ricos em taninos condensados, como agente natural no tratamento de água.

2.2 ESPECÍFICOS

- Realizar a extração de taninos condensados em grandes quantidades a partir da casca do eucalipto, utilizando métodos apropriados que garantam a máxima eficiência na obtenção do princípio ativo, considerando variáveis como tempo, temperatura e o tipo de solvente, bem como o método. Aplicar os extratos da casca de eucalipto no tratamento de amostras com certo nível de turbidez, a fim de testar sua atuação como coagulante e floculante natural.
- Monitorar a eficiência do processo de clarificação da água, por meio da medição da turbidez antes e após o tratamento, utilizando turbidímetro para quantificar a redução de partículas em suspensão.
- Avaliar as alterações do pH da água tratada, com o intuito de verificar se o uso dos taninos interfere na acidez ou alcalinidade da água.
- Investigar a viabilidade técnica e ambiental da utilização dos resíduos da casca do eucalipto como insumo no tratamento de água, considerando aspectos como

disponibilidade do material, propriedades físicas, biodegradabilidade e possíveis impactos secundários.

3. JUSTIFICATIVA

A crescente demanda por recursos hídricos de qualidade ou condições de uso, aliada à escassez de tecnologias acessíveis e ambientalmente seguras, tem impulsionado o desenvolvimento de alternativas sustentáveis para o tratamento de água. Os sais de alumínio são os coagulantes químicos mais comumente utilizados no processo de tratamento de águas, apresentando maior eficiência quando o pH da suspensão estiver entre 5,0 e 8,0 (VIANNA, 2002). Matos *et al.* (2007) acrescenta que a maior desvantagem desses sais se refere ao fato de que lodo formado é um sério problema ambiental ainda a ser resolvido, dado que, alguns desses sais utilizados, como por exemplo, os que possuem alumínio, são tóxicos para plantas e microrganismos.

Nesse contexto, para Gomes *et al.* (2017) surge a ideia do uso de coagulantes naturais por serem biodegradáveis e não tóxicos. Algumas pesquisas apontam as propriedades de coagulação do tanino, Pirola *et al.* (2021) afirmam que é o quarto constituinte mais abundante extraído das biomassas lignocelulósicas.

A casca do eucalipto ainda é tratada como resíduo na indústria florestal, Sjostrom (1993) estima que o peso da madeira é composto entre 10 e 15% de casca. Conforme o censo de 2023 consolidado e fornecido pelo SNIF (2023), no Brasil a quantidade de resíduos da indústria madeireira produzida é de 2,9 milhões t/ano.

Embora não haja uma especificação direta se tratando dos resíduos advindos da madeira do eucalipto, os dados do SNIF (2024) apontam que há uma produção de 137 milhões t/ano de madeira em tora de eucalipto no Brasil. Ao empregar a proporção de Sjostrom (1993) estima-se cerca de 20,55 milhões t/ano de casca. Com relação ao custo dos biopolímeros catiônicos, Vaz *et al.* (2010) justifica que ainda que seja maior que o custo dos sais de alumínio e ferro, as reduzidas dosagens requeridas diminuem o custo total do coagulante quando comparado aos sintéticos.

Ao idealizar um sistema de maior rendimento e destinação de um resíduo não considerado como produto, as cascas do eucalipto podem ser fonte de produção de tanino para diversas aplicações, inclusive como coagulantes para o tratamento da água para a criação de peixes, comunidades em que o saneamento básico não contemple, e para fins não nobres (não requer potabilidade). Por esta razão a avaliação de parâmetros como a turbidez e o pH da água

reagem com a aplicação do tanino dão subsídio para a presente pesquisa. A proposta visa compreender o potencial dessa biomassa como alternativa sustentável, uma vez que, aumenta o aproveitamento e rendimento industrial, e com adaptações a depender da demanda e uso, pode ser um tratamento de baixo custo e menos residual quando comparado aos coagulantes químicos tradicionais.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 TANINOS E ESTRUTURAS QUÍMICAS

As plantas produzem uma larga e diversa ordem de componentes orgânicos divididos em metabólitos primários e secundários (Taiz; Zeiger, 2006). A obra de Souza e Alves (2002) sugere que o primeiro grupo então citado participa ativamente das funções estruturais e de desenvolvimento das plantas, enquanto o segundo grupo atua como mecanismo de sobrevivência das plantas no que diz respeito às interações com agentes externos.

De acordo com Borges e Amorim (2020) o tanino constitui-se como um composto fenólico, produzido pelas plantas como metabólito secundário ou especializado, que não desempenham um papel essencial para as plantas, mas são extremamente importantes para a evolução e defesa destas. Taninos são polifenóis de alto peso molecular, solúveis em água, possuindo a propriedade de precipitar proteínas (Farmer, 1967 apud Mori *et al.*, 2003).

Battestin *et al.* (2004) afirmam que o teor de taninos é influenciado pelos aspectos edafoclimáticos, varia de espécie para espécie e em um mesmo indivíduo. Em complemento Mori *et al.* (2003) cita em sua obra como os taninos se diferem tanto nas partes vegetativas quanto nas partes reprodutivas, e como são classificados em taninos condensados ou taninos hidrolisáveis.

4.2 TIPOLOGIA DOS TANINOS VEGETAIS

Conforme Rodrigues *et al.* (2010) a principal diferença entre os taninos hidrolisáveis e condensados é que o primeiro grupo é formado por diversas moléculas de ácidos fenólicos como o gálico e o elágico, e suas ligações ésteres são hidrolisadas por ácidos ou enzimas, o que facilita absorção e manipulação para preparações farmacêuticas, inseticidas, etc, possivelmente devido à solubilidade em água; já o segundo grupo é mais resistente à fragmentação e estão relacionadas com pigmentos flavonoides (flavan-3-ol, flavan-3,4-diol, etc), de acordo com as literaturas aqui citadas observa-se um vasto uso na indústria com adesivos, coagulantes, etc.

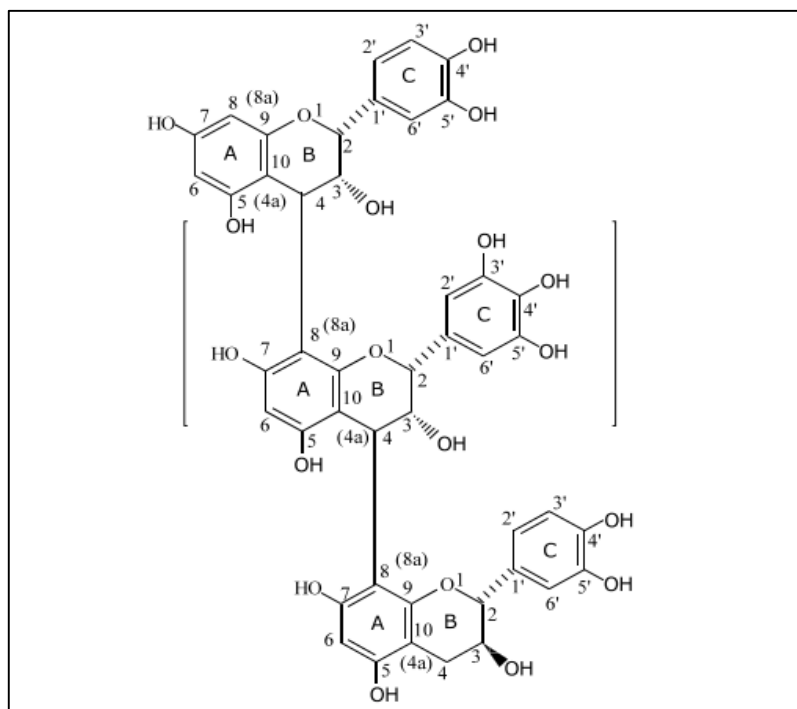


Figura 1: exemplo de estrutura de um tanino condensado apresentado em três unidades flavonoides de catequina. Fonte: Couto et al. (2021); adaptado de Oliveira (2008).

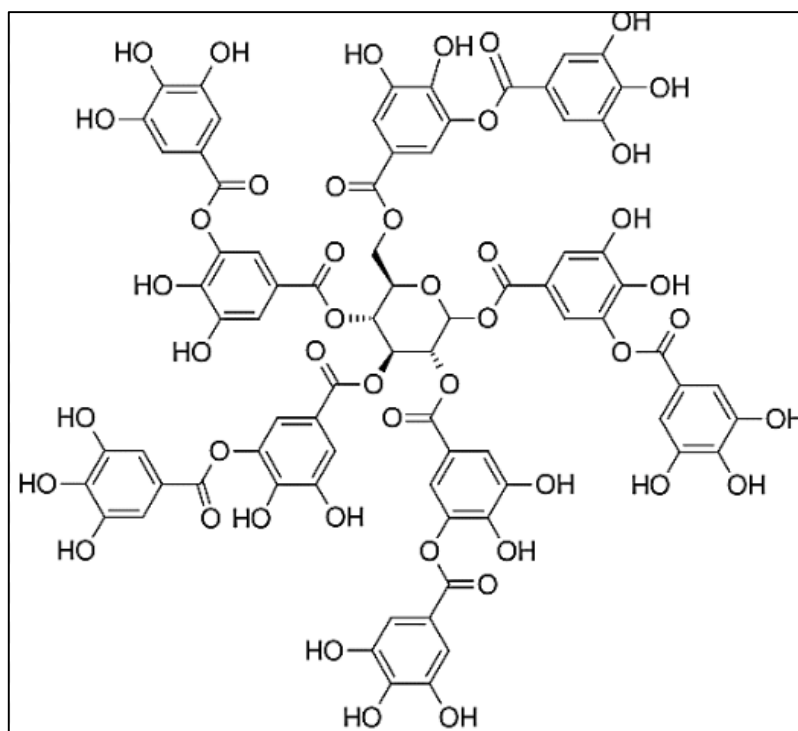


Figura 2: exemplo da estrutura de um tanino hidrolisável. Fonte: Piovesan, 2018.

4.3 HISTÓRICO DE USO E APLICAÇÕES DOS TANINOS

Desde a antiguidade os taninos são utilizados para transformar a pele animal em couro curtido [...] (BUCHANAN, 1975; HERGERT, 1989, apud MORI, 2003). Na obra de Moraes *et al.* (2005) comunidades indígenas no Nordeste, como os tabepas, utilizam na medicina popular para tratar problemas dermatológicos e ginecológicos, devido a atividade anti-inflamatória do tanino, comprovados a através das pesquisas experimentais de Viana *et al.* (2023, apud Moraes *et al.*, 2005). Já em larga escala, Mori *et al.* (2003) cita os taninos são utilizados para a fabricação de adesivos para madeira e são empregados também na perfuração de poços de petróleo para diminuir o índice de coesão nas argilas.

Na obra de Lopes (2018) é retratado que alguns materiais vegetais eram aplicados para remover a turvação da água, como as amêndoas no Egito, *Strychnos potatorum* na Índia, ou feijão no Sudão. Além dos usos citados, as pesquisas de Azevêdo *et al.* (2017) e Gomes *et al.* (2017) comprovam o uso do tanino como um bom coagulante no tratamento da água.

Ribeiro (2021) aborda que a cationização confere cargas positivas às moléculas de tanino e intensifica sua interação com partículas coloidais carregadas negativamente. Essa modificação, segundo pesquisas recentes, amplia a eficiência da coagulação e melhora a formação de flocos estáveis durante o tratamento. Faria *et al.* (2015) complementa que os taninos catiônicos apresentam potencial para substituir parcial ou totalmente os sais metálicos convencionais, com a vantagem de reduzirem os impactos ambientais e os custos relacionados ao descarte de resíduos.

Assim, observa-se que o tanino é amplamente utilizado, quer seja por comunidades tradicionais ou pela indústria. No entanto, nem sempre se tem um aproveitamento de materiais ricos em tal composto. Os dados do IBÁ (2019), sugerem que casca de árvores, por ser um subproduto abundante da atividade florestal, representam uma fonte economicamente viável para a extração desses compostos.

Entre as espécies de interesse, o gênero *Eucalyptus* destaca-se tanto pela elevada biomassa quanto pelos teores de polifenóis em sua casca, assim como abordam diversos estudos. Logo, se torna um recurso promissor na produção de extratos vegetais de alto valor agregado, ao qual o tanino faz parte.

4.4 COAGULANTES NATURAIS E SINTÉTICOS

Segundo Lima *et al.* (2020) os egípcios descobriram o princípio da coagulação através do alúmen químico para o assentamento de partículas suspensas. O método de coagulação-floculação tem por finalidade a remoção de substâncias coloidais, ou seja, material sólido em suspensão (turbidez) e/ou dissolvido (cor) (Vaz, 2010; Oldoni, 2022). Em congruência, Pavanelli (2001) explica que o processo de coagulação corresponde à desestabilização da dispersão coloidal, isto é, reduz as forças de repulsão entre aquelas que possuem carga negativa. Sendo assim, é considerado uma das etapas mais relevantes no tratamento de água, estudos como o de Silva (2024) apontam que a eficiência desse processo depende diretamente da natureza e da dosagem do coagulante, do pH da solução e do tempo de agitação aplicado.

O estudo de Pavanelli (2001) traz resultados sobre alguns coagulantes como o sulfato de alumínio, cloreto férrico, hidroxicloreto de alumínio e sulfato férrico, tal qual suas respectivas concentrações. Para isso, adicionam-se produtos químicos específicos, habitualmente sais de ferro, alumínio ou polímeros sintéticos e realiza-se uma agitação rápida para assegurar a homogeneização da mistura. No entanto, Lima *et al.* (2020) aborda em sua pesquisa que a coagulação e a floculação podem ser obtidas tanto por meio de coagulantes químicos quanto de coagulantes naturais.

Lima *et al.* (2020) discorrem que embora seja comprovada a eficiência e importância relativa dos coagulantes polieletrólitos e metálicos, os coagulantes orgânicos de carga negativa e positiva realizam a coagulação sem precisar de ajustes no pH. Além disso, não causam problemas de corrosão, são mais baratos, biodegradáveis e ambientalmente mais adequados.

Os coagulantes naturais são principalmente polissacarídeos ou proteínas, cuja funcionalidade é semelhante à dos coagulantes químicos, porém, tratam de sua vantagem por serem biodegradáveis e não apresentarem toxicidade [...] (Lima *et al.*, 2020). A funcionalidade desta categoria evidencia a vantagem ambiental e sanitária, bem como demonstra o aspecto de valor rumo ao desenvolvimento de produtos com uma eficiência similar a dos produtos sintéticos utilizados para esse tipo de tratamento da água.

Para Lima *et al.* (2020) coagulantes à base de plantas são tidos como uma alternativa útil, em termos de alcance com relação aos objetivos ambientais, de saneamento e desenvolvimento sustentável, pois são geralmente considerados seguros para a saúde humana, com baixa produção de iodo, de baixo custo e disponíveis localmente, portanto, globalmente acessíveis. Assim, os taninos se apresentam como uma possibilidade.

Diante do que foi discorrido, é válido salientar que para o tratamento de águas superficiais deve-se analisar as condições da água a ser tratada, a otimização dos processos de

aplicação e a viabilidade econômica, social e ambiental que o coagulante e o método oferecem. Tais tratamentos podem garantir a diminuição da turbidez e melhorar as condições do pH para o consumo de fins não nobres ou potabilidade.

4.5 PROBLEMAS ASSOCIADOS À QUALIDADE DA ÁGUA E PARÂMETROS ESTABELECIDOS

A água é um recurso essencial à vida, sendo a necessidade de manutenção desta, incontestável. Almeida *et al.* (2019) reiteram que disponibilidade de água potável tem sido reduzida em função dos acelerados processos de degradação ambiental dos rios e nascentes, o que compromete o uso deste recurso indispensável à sobrevivência. A poluição da água por lixos, combustíveis, coliformes fecais, fertilizantes e outros produtos químicos podem trazer graves consequências para o meio ambiente e para a saúde humana. Entre as diversas aplicações destaca-se o uso para melhoria da qualidade da água, visto que, em alguns lugares o saneamento básico ainda é um desafio. Posto isso, tratamentos da água alternativos são cada vez mais procurados e estudados, mas muitas vezes, os tratamentos convencionais não são ecologicamente viáveis, eficazes ou adequados.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (1997) define a água como um bem de domínio público e um recurso natural limitado, dotado de valor econômico. Tais considerações estão em conformidade com a resolução nº 357/2005 descrita no CONAMA, que considera que a água integra as preocupações do desenvolvimento sustentável, baseado nos princípios da função ecológica [...] bem como no reconhecimento de valor intrínseco à natureza.

Então, concebe-se que a qualidade da água é um fator determinante para a manutenção de serviços ecossistêmicos, e consequentemente do bem-estar social. Por esta razão, a portaria de consolidação nº 5/ GM/MS visa implementar e organizar procedimentos de controle e vigilância conforme a natureza da água e seu padrão de potabilidade. Entre os parâmetros analisados estão parâmetros físico-químicos, químicos inorgânicos, orgânicos e contaminantes, cianotoxinas em mananciais superficiais e parâmetros microbiológicos.

A potabilidade da água no Brasil é regulamentada pela Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, que define os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e à vigilância da qualidade da água, além de estabelecer os valores máximos permitidos (VMP) para diversos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radiológicos. Essa portaria visa assegurar que a água destinada ao consumo apresente condições adequadas de qualidade e não ofereça riscos à saúde humana.

Dentre os parâmetros destaca-se a turbidez, que também está ligada à qualidade da água. A turbidez pode ser definida como sendo o grau de redução que a luz sofre ao atravessar uma certa quantidade de água, devido à presença das partículas e substâncias que esta contém (Pavanelli, 2001). O alto nível de turbidez está intimamente relacionado à existência de matérias orgânicas e argilas suspensas na água, em que, a agregação destes componentes dá origem a coloides que interferem na penetração da luz (APHA, 1995; FERREIRA *et al.*, 2015).

De acordo com a portaria GM/MS nº 888, a água deve estar isenta de contaminantes em níveis prejudiciais e possuir características físico-químicas compatíveis com o consumo. A norma especifica que a turbidez não deve ultrapassar 5 NTU após o processo de filtração, sendo este um dos principais indicadores da eficiência do tratamento e da remoção de partículas suspensas.

Outro fator que é válido ressaltar é o potencial hidrogeniônico (pH), escala que mede a acidez ou alcalinidade de uma substância, que pode afetar a saúde humana e ambiental quando não adequada ao uso dos respectivos organismos dependentes. A Portaria então citada também amplia o monitoramento de substâncias químicas orgânicas e inorgânicas, inclui metais pesados e agrotóxicos, e redefine o papel do pH, que deixou de ter uma faixa fixa de potabilidade, mas passou a ser avaliado conforme as condições operacionais do sistema de tratamento.

Logo, os protocolos sugeridos e requeridos de forma padrão promovem um controle integrado dos parâmetros de qualidade da água e assegura, maior efetividade na proteção da saúde pública.

4.6 TANINO, UM COAGULANTE NATURAL PARA O TRATAMENTO DA ÁGUA

Conforme Conti (2024), os impactos ambientais gerados pelos processos convencionais de tratamento de água têm intensificado a busca por alternativas mais sustentáveis aos coagulantes inorgânicos. Nesse contexto, o tanino, um coagulante natural de origem vegetal e biodegradável, destaca-se como uma opção ecologicamente viável e eficiente.

Silva (1999) descreve o tanino como uma molécula com propriedades de coagulação que desestabiliza os coloides por meio da eliminação da camada de solvatação, diminuindo o potencial zeta (potencial elétrico de uma partícula) durante o processo de coagulação e assim permite a formação de flocos. A formação de aglomerados de flocos permite a sedimentação ou filtração.

A pesquisa de Silva (2024) indica que a obtenção do tanino como coagulante se dá por meio da cationização, modificação química que introduz cargas positivas (cátions) em uma

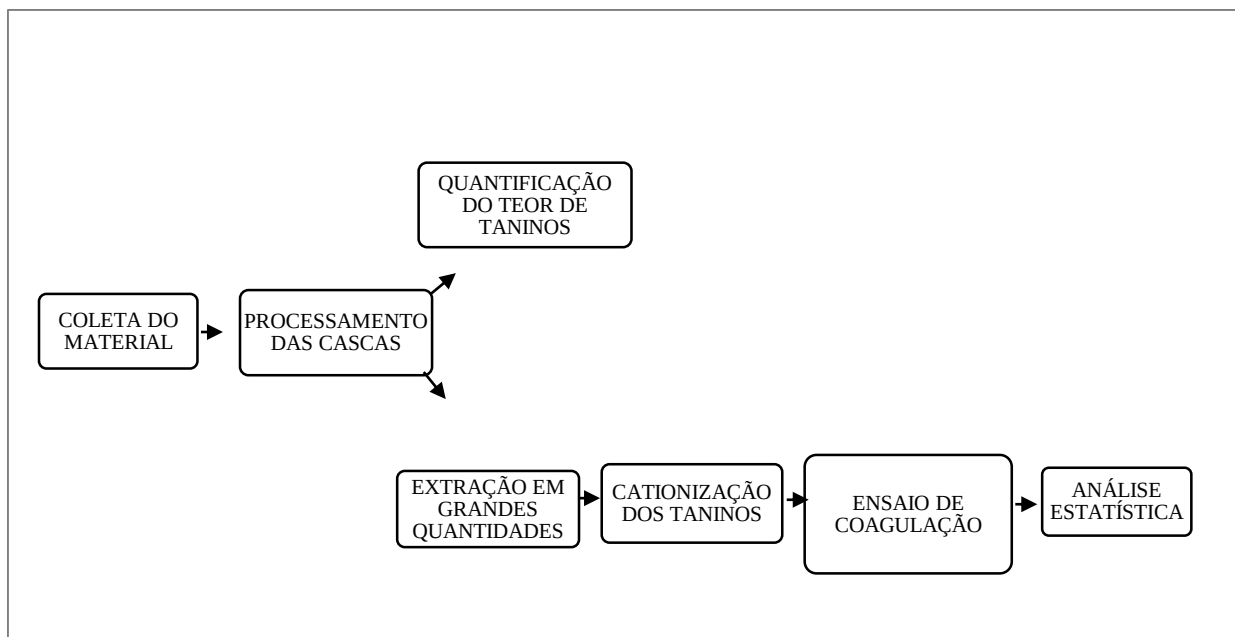
molécula. De forma complementar Leiviskã, Santos (2023, apud Silva, 2024) afirmam que os coagulantes advindos de taninos são adquiridos através da introdução de grupos amina na estrutura de Mannich, em que o formaldeído e a amina reagem para formar um íon imínio, este reage com o anel fenólico da estrutura do tanino e substitui o hidrogênio. Deste modo, o tanino é capaz de se ligar a partículas aniônicas suspensas na água.

5. MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos realizados foram fundamentados em metodologias propostas por Silva (2024), para a extração de extratos tânico a partir de material triturado da casca do eucalipto (*Eucalyptus* spp.). A metodologia foi adequada para a extração de taninos condensados com aplicação no tratamento de água e com o foco na redução da turbidez e na análise das alterações de pH. Contudo, algumas modificações percorridas ao longo do texto para cada processo em que houve tais adaptações, salienta-se que estas ocorreram em virtude da natureza do material (resíduo), objetivos específicos e condições experimentais, além do protocolo do Grupo de Estudos em Produtos Florestais Não Madeireiros da UFRN (GEPFLOMN-UFRN).

Diferente dos métodos referidos, a medição da umidade inicial (material úmido), não foi realizada, pois era necessário pesar as cascas úmidas e estas já estavam no pátio de secagem quando foram coletadas para a presente pesquisa, tendo como base de referência a medida realizada nas toras de eucalipto ainda com casca na própria empresa após o corte, com medidor elétrico (umidade a 30%). A metodologia de Silva (2024) teve como objetivo central caracterizar quimicamente o extrato de taninos condensados das cascas de espécies nativas e exóticas e avaliar o desempenho de um coagulante natural a base de tanino extraído da amendoeira (*Terminalia catappa* L.), o que confere à análise 48 tratamentos. Além disso, no trabalho de Silva (2024) houve o emprego da caracterização FTIR (Espectrometria de Infravermelho com Transformada de Fourier), para identificar e compreender quais grupos químicos e quais compostos (taninos, lignina, celulose) estavam presentes no material. No presente trabalho, a caracterização não foi realizada após a extração de taninos, devido à logística de tempo e disponibilidade do equipamento.

De modo geral, a atividade incluiu as etapas descritas no fluxograma abaixo, da coleta processamento do material, quantificação do teor de taninos e sólidos totais, extração em grandes quantidades, cationização do tanino e o ensaio de coagulação, ou seja, a aplicação para o tratamento parcial da água, uma vez que somente dois parâmetros de qualidade (pH e turbidez) desta foram avaliados.



Fluxograma 1: esquema em ordem da metodologia empregada. Fonte: autor, 2025.

5.1 COLETA DO MATERIAL:

A quantidade inicial do material coletado (Figura 3) foi de aproximadamente 8 kg de casca eucalipto (*Eucalyptus* spp.). As cascas são provenientes de material residual de diferentes clones. As coletas da casca do eucalipto ocorreram na empresa de madeira serrada E-paletes, localizada em Alagoas.



Figura 3: material coletado da casca do eucalipto (*Eucalyptus* spp.). Fonte: autor, 2024.

Com relação à avaliação e comparação das espécies utilizadas não houve uma especificidade, uma vez que, a intenção do presente trabalho foi avaliar se é possível extrair

uma quantidade significativa do material residual (cascas) para a extração em grandes quantidades e aplicação de tanino no tratamento parcial da água; bem como, se o tanino reage com a turbidez e pH da água, quando aplicado como coagulante. A secagem das cascas ocorreu em temperatura ambiente por aproximadamente três meses ao ar livre e mais quatro meses em temperatura ambiente, porém, armazenada em sacos plásticos. A umidade padrão pós secagem adotada seguiu a que é medida pela empresa em campo, ou seja, a 30% por meio de medidores elétricos. Só houve uma nova medição da umidade pós secagem e armazenamento, ou seja, a umidade inicial não foi conferida.

5.2 PROCESSAMENTO DAS CASCAS:

O processamento dos resíduos, foi realizado em grande parte no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (CECA-UFAL), e em seguida o material foi levado para a Escola Agrícola Jundiá na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (EAJ-UFRN).

Inicialmente, o material foi moído três vezes em uma forrageira, mas por não alcançar a granulometria adequada, devido sua natureza fibrosa, passou por mais um tipo de moinho. Assim, no CECA-UFAL foi utilizado, respectivamente, o triturador forrageiro (figura 4) e um moinho martelo acoplado a um moinho de facas. Sendo necessário utilizar mais uma vez, o triturador do tipo forrageiro, ao chegar na EAJ-UFRN. No experimento de Silva (2024), as peneiras utilizadas tinham a abertura de 1,00 mm e 0,25 mm, entretanto, nesta pesquisa foi necessário adaptar uma peneira com menor abertura (0,075mm) e um fundo foi encaixado, pois o material ficou um pouco mais fino do que se esperava após a última moagem (figura 6).



Figura 4: processamento da casca do eucalipto (*Eucalyptus* spp.) na primeira trituração. Fonte: autor, 2024.



Figura 5: material processado após a primeira moagem, sendo repetido até chegar na granulometria esperada. Fonte: autor, 2024.



Figura 6: material obtido após a última moagem. Fonte: autor, 2024.

5.3 QUANTIFICAÇÃO DO TEOR DE TANINOS CONDENSADOS (TTC)- EXTRAÇÃO EM PEQUENAS QUANTIDADES

Antes de determinar o Teor de Taninos Condensados, foi determinado o teor de Umidade Base Seca (UBS) das amostras, em triplicata foram pesados béckeres sem e com as amostras contendo 2g de serragem (material moído). Os recipientes vazios foram levados à estufa em temperatura constante de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 1h, para reter a umidade do ar e possíveis resíduos. Depois foram transferidos para o dessecador por 30 min até o bécker ficar em peso constante. Após o processo anterior descrito, os três recipientes com a serragem homogeneizada foram colocados na estufa por 24h à $103^{\circ}\text{C} \pm 2$. Por fim, as amostras foram para dessecador (resfriador) por 30 min, bem como pesadas em uma balança de precisão e registradas como massa do recipiente + amostra. A massa seca foi dada por:

$$M_{\text{seca}} = M_2 - M_0$$

Em que:

M_0 = massa do bécker vazio e seco= 21,69g

M_1 = massa do bécker + amostra úmida= 21,69g + 2g

M_2 = massa do bécker + amostra seca= 23,50g

$$\text{UBS \%} = [(m_{\text{úmida}} - m_{\text{seca}}) / m_{\text{seca}}] \times 100 \text{ (eq. 1)}$$

$M_{úmida} = 2 \text{ g}$

$M_{seca} = 1,81 \text{ g}$

Depois A quantificação do teor de taninos condensados (TTC) foi realizada por meio do método de Stiasny, baseado na precipitação dos taninos em presença de formaldeído (37% m/m) e ácido clorídrico concentrado, sob aquecimento em refluxo. O precipitado obtido foi seco e pesado, permitindo o cálculo do Índice de Stiasny, posteriormente utilizado para determinar o TTC a partir do teor de sólidos totais (TST) do extrato.

Este método tem como finalidade quantificar os taninos condensados reativos presentes no extrato, que são os compostos com potencial de aplicação como coagulantes naturais no tratamento de água. Através dessa quantificação, é possível estimar a fração de taninos que efetivamente participa dos mecanismos de coagulação, sendo fundamental para avaliar a viabilidade do extrato vegetal como alternativa sustentável aos coagulantes químicos convencionais.

1ª Etapa- Preparação e Extração dos Compostos Tânicos

Foram separadas e pesadas três amostras de 27,62 g de material seco. Uma peneira e um fundo foram encaixados, a fim de fazer a extração com a serragem retida na peneira. Os compostos tânicos presentes no material foram extraídos utilizando água destilada. Essas amostras foram transferidas para balões de fundo chato com capacidade de 500 mL, e em seguida adicionados 250 mL de água destilada (proporção 1:10), sendo então submetidas à ebulição ao condensador (Figura 7), sob refluxo, com duração de duas horas. Cada amostra passou por duas etapas consecutivas de extração (relação final 1:20), com o objetivo de remover a maior quantidade possível de compostos extraíveis.



Figura 7: extração em pequenas quantidades ou quantificação. Fonte: autor, 2024.



Figura 8: Extrato tânico separado nas três amostras armazenadas em garrafas pet para quantificação do teor de taninos e sólidos totais. Fonte: autor, 2024.

2ª Etapa- Filtração, Concentração e Determinação do Teor de Sólidos Totais (TST)

Após cada processo de extração, o material foi peneirado com malha de 200 “mesh” (0,075 mm) e passou por um tecido de flanela, visando à retenção das partículas de serragem. O extrato obtido foi uniformizado e filtrado em cadinho de vidro sinterizado com porosidade 2. Na sequência, este foi concentrado até atingir um volume de 500 mL. Após essa concentração, foram retiradas três alíquotas de 50 mL de cada extrato. Duas dessas alíquotas

foram empregadas na quantificação do TTC e uma foi evaporada em uma estufa a 103 ± 2 °C por 48 horas, para determinação do Teor de Sólidos Totais (TST) (Equação 1).

$$\text{TST(\%)} = \text{Mf/Mi} * 100 \text{ (eq.2)}$$

Em que: TST= teor de sólidos totais, em porcentagem; Mi = massa inicial, em gramas; Mf = massa final, após secagem, em gramas.

3ª Etapa- Determinação do Teor de Taninos Condensados (TTC)- Método de Stiasny

A determinação do TTC presente em cada amostra, foi obtida através do método de Stiasny, descrito por Guangcheng *et al.* (1991), com algumas modificações. Para tanto, aos 50 ml do extrato bruto adicionou-se 4 mL de formaldeído (37% m/m) e 1 mL de HCl concentrado. Cada mistura foi submetida à fervura sob refluxo por 30 minutos. Nessas condições, os taninos formaram complexos insolúveis, separados depois por filtragem simples. Para isso empregou-se o filtro de papel em funil de Büchner de 10 cm de diâmetro e 4 cm de profundidade.

O material retido em um filtro, cuja umidade é de 5,15%, foi seco em estufa a 103 ± 2 °C por 24hs. Por fim, foi calculado o índice de Stiasny (Equação 2), como descreve Ucella *et al.* (2022), o método tem a finalidade de quantificar os sólidos presentes que são taninos condensados.

$$\text{I(\%)} = (\text{M2/M1}) * 100 \text{ (eq.3)}$$

Em que: I (%) = Índice de Stiasny, em porcentagem; M1 = Massa de sólidos em 50 mL de extrato; M2 = Massa do precipitado tanino-formaldeído.

A quantidade de taninos presente em cada amostra será obtida ao multiplicar o índice de Stiasny pelo teor de sólidos totais (Equação 3).

$$\text{TTC(\%)} = \text{TST} * \text{I} / 100 \text{ (eq.4)}$$

Em que: TTC (%) = Teor de taninos condensados, em porcentagem; TST = Teor de sólidos totais (Equação 1); I = Índice de Stiasny (Equação 2).

5.4 EXTRAÇÃO EM GRANDES QUANTIDADES

Para obtenção do extrato rico em taninos destinado ao tratamento de água, realizou-se a extração em grandes quantidades utilizando água destilada sob refluxo. Essa extração em maior volume possibilita a obtenção de taninos condensados em quantidade suficiente para aplicação na redução da turbidez e ajuste do pH da água. O extrato concentrado foi utilizado para avaliar sua eficiência como agente natural, contribuindo para a melhoria da qualidade da água por meio da remoção de partículas em suspensão e equilíbrio do pH, oferecendo uma alternativa sustentável aos produtos químicos tradicionais. E assim, as operações foram realizadas conforme as figuras 9,10, 11 e 12, em que se observa a obtenção do extrato através do peneiramento para separar o sólido do líquido, a secagem e por conseguinte a maceração.

1º Etapa- Extração Aquosa:

Foram separadas e pesadas doze amostras de 30 g de material seco em 12 beckers. Em cada becker foi adicionado 300 mL de água destilada (relação 1:10). Os recipientes foram tampados com papel alumínio para minimizar perdas por evaporação. O conjunto foi submetido a banho-maria (Figura 9), mantendo-se a temperatura constante de 70 °C por um período de 3 horas.



Figura 9: extração aquosa, seis dos doze béckers das amostras. Fonte: autor, 2024.

2ª Etapa- Separação de Fases (Primeira Extração):

Após o tempo estabelecido, o conteúdo de cada becker foi passado por uma peneira de 200 mesh. A fração líquida foi reservada, enquanto o material retido na peneira foi devolvido aos respectivos beckers.



Figura 10: separação de fases, etapa da extração em grandes quantidades.
Fonte: autor, 2024.

3ª Etapa- Segunda Extração Aquosa:

Novamente, foram adicionados 300 mL de água destilada (relação final 1:20) a cada becker contendo o material sólido. Os beckers foram submetidos a um novo ciclo de extração em banho-maria, sob as mesmas condições: temperatura de 70 °C por 3 horas.

4ª Etapa- Separação de Fases (Segunda Extração):

O conteúdo dos beckers foi novamente peneirado com malha de 200 mesh. O líquido obtido foi misturado com o reservado da primeira extração e armazenado em garrafas PET (Polietileno Tereftalato) para posterior análise ou uso. Os resíduos sólidos remanescentes foram descartados adequadamente.

5ª Etapa- Secagem e maceração:

Após o processo de armazenamento refrigerado, o líquido foi submetido à secagem ao ar livre em uma casa de vegetação, sob condições ambientais controladas de ventilação e proteção por 10 dias. Concluída a secagem, o material foi macerado manualmente, a fim de

reduzir o tamanho das partículas e aumentar a área de superfície para obter o tanino, que posteriormente foi cationizado.



Figura 11: secagem no processo de extração em grandes quantidades.
Fonte: autor, 2024.



Figura 12: maceração do tanino. Fonte: autor, 2024.

5.5 CATIONIZAÇÃO DE TANINOS:

Segundo Silva (2024), a cationização é a etapa que consiste em transformar o tanino em um coagulante, fundamentada na reação de Mannich (Mangrich *et al.*, 2014), sendo esta uma reação específica que pode ser realizada para cationizar dadas substâncias.

1° etapa da cationização

Os materiais utilizados para o processo foram:

- 24,4g de formaldeído
- 5,4g de cloreto de amônio
- Peixinho (barra de agitação magnética)
- Balão de fundo chato
- Agitador magnético (2 horas a 80°C)

Em dois beckers foram adicionados formaldeído e cloreto de amônio, a barra de agitação magnética foi colocada dentro do balão de fundo chato e este no agitador magnético por 2 horas a 80°C (Figura 13).



Figura 13: etapa de preparo para a cationização. Fonte: autor, 2024.

2° etapa – Mistura tanino-solvente

Em Becker pequeno, foi colocado na balança 14g de taninos e em seguida água destilada até chegar a 28g, a mistura foi realizada e o composto foi translocado para o mesmo balão de fundo chato, da primeira etapa, no agitador magnético por 30 minutos a 60°C. Em becker foi pesado 0,2g de monoetalonamina e logo após foi adicionado ao balão de fundo chato juntamente com as etapas 1 e 2, após passado o tempo de cada um (3 horas a 50 °C).

3° etapa – Secagem

O material foi retirado ao fim dos processos então citados e colocado em bandejas para ser levado à estufa de 60°C até 80°C, durante o período de 48 horas, retirado após perda de toda água.



Figura 14: tanino cationizado translocado para as bandejas antes do processo de secagem. Fonte: autor, 2024

4º etapa – Maceração

Ao final, o precipitado foi retirado da bandeja e macerado, pronto para a aplicação na água.



Figura 15: maceração do tanino cationizado após a secagem. Fonte: autor, 2024

5.6 APLICAÇÃO DO TANINO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA- REAÇÃO COM O PH E A TURBIDEZ (ENSAIO DE COAGULAÇÃO):

A água utilizada para a realização dos testes laboratoriais foi coletada em um açude localizado nas dependências da Escola Agrícola de Jundiá (EAJ), cujas coordenadas são 5°53'25,5" a sul e 35°21'31,1" a oeste, como consta na Figura 6, situada no município de Macaíba, no estado do Rio Grande do Norte (RN). A coleta ocorreu no Rio Grande do Norte em razão das más condições de armazenamento e transporte para levar amostras de Alagoas, por conta da logística experimental e disponibilidade de equipamento, além da aplicação do método, foi mais viável fazer a coleta no local em que a análise foi realizada.

O processo de coleta foi conduzido visando garantir a análise da reação do tanino com a amostra, além da representatividade desta em relação às condições naturais do manancial. Após a coleta, não houve nenhum tipo de filtração ou tratamento prévio a água foi armazenada em dois galões plásticos com capacidade de 5 litros cada, devidamente esterilizados e identificados para evitar contaminações.



Figura 16: Açude em que a coleta ocorreu, nas dependências da EAJ-UFRN, situada em Macaíba-RN. Fonte: Google Earth, 2025

Para a obtenção de resultados visivelmente satisfatórios durante os ensaios, foi necessário ajustar a turbidez da água dos galões (Figura 17). Esse ajuste foi realizado por meio da adição de solo coletado no próprio entorno do açude, procedimento que visou simular uma

condição de turbidez conhecida e controlada, essencial para a avaliação da eficiência dos coagulantes testados quanto a turbidez.



Figura 17: água coletada de açude da EAJ-UFRN, com turbidez ajustada.
Fonte: autor, 2024.

Os ensaios de tratamento da água foram realizados no Laboratório de Produtos Florestais Não Madeireiros, localizado no campus da EAJ da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). O foco principal dos experimentos foi a aplicação do processo de coagulação/floculação, utilizando o equipamento conhecido como Jar Test, amplamente empregado em estudos de tratamento de águas.

Durante os testes, cada um dos recipientes do equipamento recebeu exatamente 1 litro da amostra de água previamente preparada. Antes do início das etapas de agitação e adição dos coagulantes, foram realizadas medições iniciais dos parâmetros físico-químicos da água, com destaque para o pH e a turbidez. Constatou-se que todas as amostras apresentavam uma turbidez inicial média de 150 NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez), e pH de 10,15.

O coagulante foi aplicado (Figura 19), ou seja, o tanino cationizado, nas concentrações de 200mg/L e 150 mg/L, conforme metodologia adaptada dos estudos de Beltrán-Heredia e Sánchez-Martín (2009), além de Sousa (2015). O protocolo de agitação seguiu duas etapas complementares: uma agitação rápida a 185 rpm durante 2 minutos para a dispersão do coagulante, com um intervalo de 5 min e depois por uma agitação constante a 35 rpm durante 10 minutos, repetindo o processo por 6 vezes (60 min). A cada 10 min o pH e turbidez foram medidos, respeitando os princípios da coagulação e floculação, que requerem tempos e intensidades específicas para formação e crescimento dos flocos.



Figura 18: tanino sendo pesado para a aplicação no Jar Test. Fonte: autor, 2024.

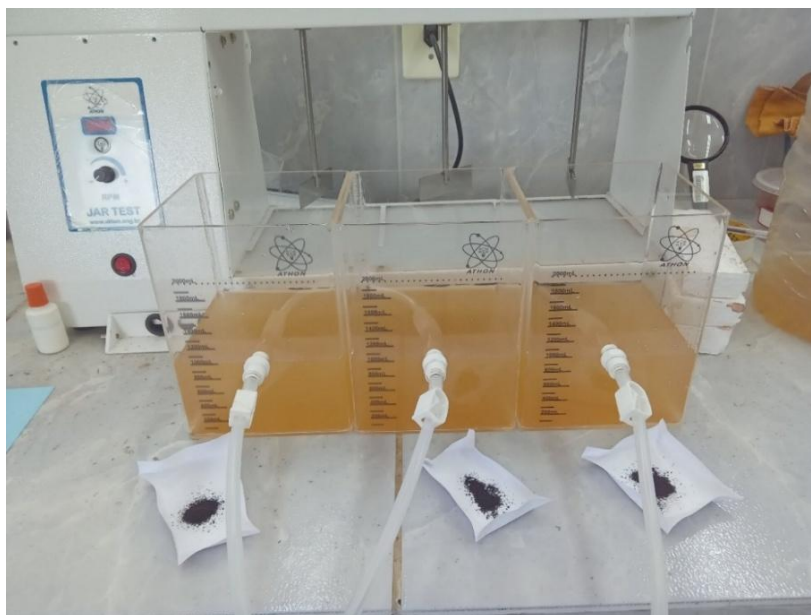


Figura 19: Jar Test com as amostras de água que foram coletadas. Fonte: autor, 2024.

Assim, os aspectos citados traduzem a busca por soluções mais ecológicas no processo de purificação da água, além da contribuição científica. Esse conjunto metodológico rumo aos resultados esperados permitiu a análise comparativa da alteração do pH e turbidez em função de duas concentrações do tanino empregado como coagulante e em função do tempo. Oferecendo subsídios importantes para a avaliação de alternativas e implementações sustentáveis no tratamento de águas com elevada turbidez.

5.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos experimentalmente foram inicialmente tabulados no software Microsoft Excel®, onde se realizou a organização e a verificação preliminar das médias e variâncias. Em seguida, procedeu-se à análise estatística utilizando o software R (R Core Team, 2023).

Para as análises, empregou-se a biblioteca *expdes.pt*, desenvolvida para experimentos agrícolas e ambientais, que possibilita a aplicação de testes estatísticos voltados a delineamentos experimentais. O delineamento adotado foi o fatorial em blocos inteiramente casualizados (Fatorial 2² – DIC), sendo aplicada a função *fat2.dic()*, a qual permite avaliar os efeitos principais e de interação entre os fatores estudados.

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e, quando constatadas diferenças significativas entre as médias, estas foram comparadas pelo teste de Tukey, adotando-se o nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 COLETA DO MATERIAL E PROCESSAMENTO DAS CASCAS

Souza *et al.* (2006) enfatizam que tecidos vegetais para a análise de tanino condensado precisam passar pelo processo de secagem do material. No presente trabalho, as cascas foram secas em temperatura ambiente e ao ar livre por meses, todavia, a remoção da umidade inicial das cascas sem ser em estufa, pode ter mantido parte da água livre e a de capilaridade. Este fator pode ter interferido no processo de moagem da casca avaliada nesta pesquisa, uma vez que, as fibras menos rígidas (com umidade capilar) dificultaram o processo de trituração. Sendo necessário moer as cascas várias vezes até atingirem o tamanho ideal.

Portanto, os resultados corroboram os estudos de O’Neil *et al.* (2017) os quais verificaram o papel da água remanescente no tecido vegetal atuando como um plastificante, reduzindo a resistência mecânica das fibras, o que dificulta a quebra das fibras.

6.2 QUANTIFICAÇÃO DO TEOR DE TANINOS CONDENSADOS (TTC)-EXTRAÇÃO EM PEQUENAS QUANTIDADES

O teor da Umidade Base Seca (UBS) do material processado foi de 10%. Em seguida os resultados com base nos valores para o cálculo do TST, bem como para o TTC e a determinação do índice de Stiasny, foram alcançados. O índice de Stiasny se refere aos taninos do tipo flavanol, esses taninos são precipitados através da condensação com formaldeído em

meio ácido, sendo de difícil dissolução Medeiros *et al.* (2019, apud Silva, 2024). Abaixo, a Figura 11 ilustra a etapa de quantificação, e de forma complementar a Tabela 1 indica os percentuais médios calculados através dos valores obtidos durante o experimento.

As medidas apresentadas na Tabela 1 correspondem aos percentuais de massa utilizadas para o cálculo do teor de taninos condensados (TTC) com base no volume do extrato e na massa do precipitado tanino-formaldeído.

Casca do eucalipto	TST (%)	IS (%)	TTC (%)
Amostra 1	6,93	60,00	4,16
Amostra 2	6,75	51,47	3,48
Amostra 3	6,09	48,39	2,94
Média	6,58	53,28	3,52

Tabela 1. Valores médios do teor de sólidos totais (%), índice de Stiasny (%) e Teor de Taninos Condensados da casca do eucalipto (%).

A extração aquosa do material resultou em um Teor Médio de Sólidos Totais (TST) de 6,58% do resíduo (casca) do eucalipto, o que indica a presença moderada de compostos solúveis quando comparado a teores de espécies como a *Acacia mangium* Willd., que de acordo com Ucella *et al.* (2017) apresenta percentuais médios de TST de 19,86%, índice de Stiasny de 86,67% e TTC de 20,41%. Quanto ao Índice de Stiasny (IS), do resíduo do eucalipto, apresentou média de 53,28%, o que confirma a presença relevante de taninos condensados no extrato, porém um índice moderado. Já o Teor de Taninos Condensados (TTC) de 3,52 % foi considerado relativamente baixo, exigiria maior dose ou concentração para a aplicação.

Segundo Tomasi *et al.* (2023), as cascas de eucalipto são um subproduto abundante na indústria, entretanto, nem sempre é reaproveitado. Dito isto, apesar da ausência de identificação da espécie, uma vez que, o material avaliado foi residual, e considerando erros experimentais, os resultados demonstram que a casca de eucalipto pode ser aproveitada como fonte viável de taninos, com potencial para uso industrial ou valorização de resíduos florestais.

O processo de extração em pequenas quantidades e o rendimento obtido reforçam que apesar dos teores de médio a baixo, há a possibilidade de aproveitamento desse subproduto. Ainda assim, é possível na colheita fazer a separação de resíduos por clone e avaliar quais garantem maior rendimento.

6.3 EXTRAÇÃO EM GRANDES QUANTIDADES E CATIONIZAÇÃO DOS TANINOS

A extração de taninos condensados em grandes quantidades possibilitou a obtenção destes em escala maior, a partir das cascas. A extração de taninos deve ser feita com cuidado, de maneira a controlar os parâmetros operacionais com precisão Das *et al.* (2020).

Coagulantes naturais e os sintéticos tem como objetivo induzir a formação de aglomerados de partículas maiores e mais densas, facilitando a remoção dessas partículas nas etapas subsequentes do processo de tratamento de água (Jiao *et al.*, 2017). Dela Justina (2017) afirma que o tanino cationizado tende a manter as características do extrato vegetal natural, como por exemplo, a solubilidade em água e possibilita a neutralização de cargas negativas. Então, como mencionado na literatura, os resultados mostram que o mecanismo de ação do tanino catiônico serviu para neutralizar partículas coloidais presentes nas amostras, favorecendo a agregação e formação de flocos maiores.

ENSAIO DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO PARA O TRATAMENTO DE ÁGUA E ANÁLISE ESTATÍSTICA

No tratamento de água, aparentemente o processo de clarificação foi relativamente baixo, se tratando da turbidez, já com relação ao pH, a faixa alterou conforme o tempo. Desta maneira, a análise foi fundamentada em função do tempo e concentração, bem como em ambos os fatores interagindo. Silva (2024) enfatiza que as etapas de coagulação e floculação afetam diretamente o desempenho da turbidez e pH da água

A agitação de 185 rpm por 2 min serviu para garantir a dispersão do coagulante sobre as partículas presentes na amostra, já a floculação controlada (35 rpm) permitiu a formação de flocos maiores, a sedimentação foi observada em 1 hora. Os efeitos descritos estão simplificados no fluxograma abaixo e são congruentes à abordagem de Lopes *et al.* (2020), ao afirmar que em um sistema de tratamento, antes da remoção, as partículas na água devem estar desestabilizadas pela adição do coagulante e subsequentemente sobre forte agitação.

Ao final os resultados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA), como mostra a tabela 2. A turbidez e pH iniciais não foram consideradas para a construção dos gráficos e análise, tal qual a agitação primária para dispersão, porque o intuito foi avaliar o comportamento dos parâmetros analisados sob uma rotação constante de 35 rpm por 10 min.

FV	GL	Quadrado médio	
		Turbidez	Ph
Concentração (C)	1	195.813**	13.727**
Tempo (T)	5	177.918**	0.899ns
Interação (C*T)	5	8.616ns	1.288*
Resíduo	24	8,976	0,377
CV (%)		3,76	6,89

Tabela 2: de quadrados médios da análise de variância para as variáveis turbidez e pH em função da concentração (C), tempo (T) e interação (C*T)**, * e ns são, respectivamente, muito significativo a 1%, significativo a 5% e não significativo pelo teste F ($P < 0.05$).

ANÁLISE DA TURBIDEZ

Observa-se que tanto a concentração de tanino quanto o tempo de coagulação e floculação apresentaram efeitos significativos ($P < 0,01$) sobre a turbidez da água, enquanto a interação entre ambos ($C \times T$) não foi significativa. Isso indica que a variação na turbidez foi influenciada de forma independente pela concentração e pelo tempo, sem efeito combinado entre esses dois fatores.

Em termos práticos, significa que o aumento da dose de tanino de 150 mg para 200 mg promoveu diferenças claras na eficiência de coagulação e decantação, reduzindo a turbidez da amostra, independentemente do tempo avaliado. O efeito significativo do tempo mostra que a sedimentação foi progressiva, ou seja, quanto maior o tempo de repouso, maior a remoção de partículas suspensas, o que é esperado na coagulação-floculação. O processo corresponde aos ensaios executados na pesquisa de Ribeiro (2021) sobre avaliação de coagulantes a base de tanino, em que a amostra sedimentou durante uma hora após agitação, para a formação de sólidos mais densos.

Por fim, conforme lista o IBGE (2018), o baixo coeficiente de variação ($CV = 3,76\%$) demonstra ótima precisão experimental e baixa variabilidade residual, reforçando a confiabilidade dos resultados.

ANÁLISE DO PH

A teoria de Arrhenius conceitua que ácidos são compostos que liberam íons positivos H^+ em solução aquosa. Neste contexto, Pavanelli (2001) complementa que entender a alcalinidade da água é importante na coagulação química, pois comumente os coagulantes têm ação como ácidos em solução, os quais reduzem a alcalinidade e baixa o valor do pH [...].

Para o pH, observa-se que a concentração foi significativa a 1% ($P < 0,01$), enquanto o tempo não apresentou efeito significativo, mas quando houve a interação com a concentração ($C \times T$) foi significativa a 5% ($P < 0,05$). Esses resultados indicam que a variação da

concentração de tanino influenciou diretamente o pH da água, enquanto o tempo de dispersão do coagulante e floculação, por si só, não promoveu alterações expressivas nesse parâmetro.

O fato de a interação $C \times T$ ter sido significativa mostra que o efeito da concentração sobre o pH depende do tempo de reação, ou seja, a variação do pH ao longo do experimento não foi linear e pode refletir reações químicas específicas entre os grupos fenólicos do tanino e as partículas suspensas em diferentes intervalos de tempo de decantação. Este aspecto corrobora com a observação de Talib *et al.* (2016), a qual afirma que o tanino condensado, apesar de ser um polifenol levemente ácido, apresenta comportamento anfotérico (ácido-básico), devido à presença de nitrogênios quaternários e de grupos fenólicos.

As alterações analisadas, contudo, tendem a se estabilizar com o tempo, possivelmente explicando o comportamento significativo apenas na interação entre fatores.

Por fim, o CV de 6,89% obtido é considerado bom, como retratado na lista do IBGE (2018) e adequado para ensaios físico-químicos, pois apresenta baixa variabilidade e indica boa homogeneidade entre as repetições.

- **DE MODO GERAL, OS RESULTADOS MOSTRAM QUE:**

A turbidez foi fortemente reduzida pelas concentrações mais elevadas de tanino e pelo aumento do tempo de decantação;

O pH sofreu alterações pontuais associadas à concentração e à interação com o tempo, sem variação contínua;

- **TURBIDEZ**

EFEITO DO TEMPO SOBRE A TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA COM TANINO

A figura 22 apresenta a relação entre o tempo de sedimentação e a turbidez da água tratada com tanino. Observa-se uma tendência linear negativa altamente significativa, descrita pela equação:

$$Y = 89,8 - 0,2908x \text{ (eq.5)}$$

Coeficiente de determinação $R^2 = 0,997$

Significância a 1% de probabilidade ($P < 0,05$) pelo teste t para o coeficiente angular.

Na figura 20 nota-se uma tendência decrescente contínua ao longo do tempo, indicando aumento progressivo da eficiência de clarificação da água. Embora não tenha atingido o valor padrão de potabilidade de 5 NTU, estabelecido pela portaria GM/MS nº 888/21. O resultado indica que, a cada minuto de sedimentação, a turbidez foi reduzida, em média, 0,29 unidades de NTU, confirmando uma relação linear e estatisticamente significativa entre o tempo e a eficiência de clarificação. A alta correlação ($R^2 = 0,997$) reforça que 99,7% da variação na turbidez é explicada pelo tempo de sedimentação.

Para Silva (2024), o tempo de agitação utilizado causa efeito na aplicação do coagulante natural e químico. Em concordância com o autor e do de vista prático, essa relação expressou que o processo de coagulação-floculação com tanino é tempo-dependente, sendo que o período de repouso favorece a formação e deposição de flocos. Isso está em concordância com os resultados da ANOVA, que indicaram efeito significativo do tempo sobre a turbidez ($P < 0,01$). Já o coeficiente angular negativo significativo ($-0,2908$) evidencia que a velocidade de redução da turbidez é constante e previsível, confirmando que com melhores ajustes, o tanino atua como um coagulante natural ativo.

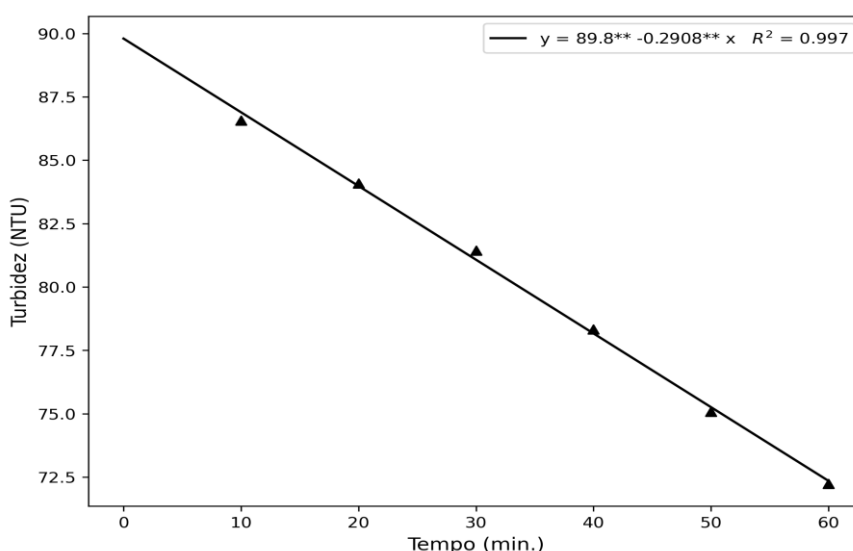


Figura 20: A turbidez (Y) em função do tempo (X), ao qual ** é significativo a 1% de probabilidade pelo teste Tukey ($P < 0.05$).

EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE TANINO SOBRE A TURBIDEZ

Os valores médios de turbidez em função das concentrações de tanino aplicadas ($150 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ e $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) estão descritos na figura 21 logo abaixo. Presume-se que os coagulantes vegetais tratam água em faixa de turbidez de baixa a média, com turbidez entre 50 a 500 NTU

(KUMAR *et al.*, 2017, apud SILVA, 2024). Dentro desse intervalo, a concentração mais elevada (200 mg·L⁻¹) resultou em turbidez significativamente menor (77,29 NTU) quando comparada à dose de 150 mg·L⁻¹ (81,96 NTU), de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$).

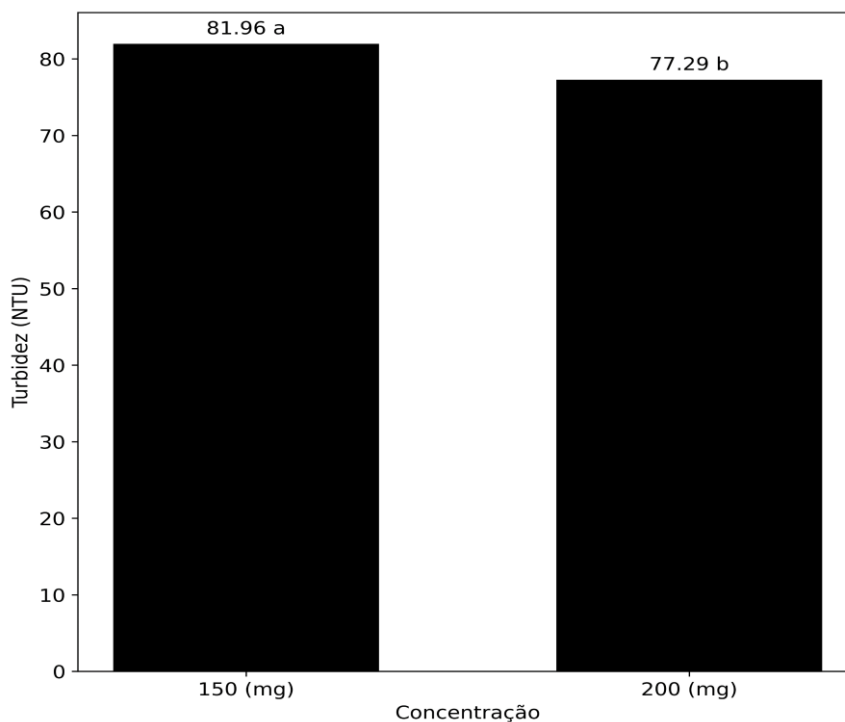


Figura 21: médias da turbidez em função da concentração seguidas de letras (a,b) que diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). A menor turbidez apresentada para a concentração de 200 mg.

A concentração de 200 mg·L⁻¹ apresentou turbidez significativamente menor (77,29 NTU) em comparação com a concentração de 150 mg·L⁻¹ (81,96 NTU), indicando maior eficiência do coagulante natural em doses mais elevadas. Essa diferença estatística (níveis “a” e “b”) indica que o aumento da concentração de tanino intensificou o processo de coagulação, proporcionando maior remoção das partículas suspensas. O mesmo ocorre no trabalho de Silva (2024), que constatou que com o tanino extraído da espécie *Terminalia catappa*, uma menor turbidez sob a mesma concentração de 200 mg/L.

Os resultados do ensaio em questão para a turbidez, podem estar atribuídos ao fato de que, em maiores concentrações de tanino, provavelmente há uma maior disponibilidade de cargas positivas resultantes da cationização do tanino. Dentro desta perspectiva, segundo Pavanelli (2001), a teoria DLVO explica tais reações, uma vez que, aponta que a estabilidade e uma suspensão coloidal pode ser descrita pela interação total resultante das contribuições das interações atrativas (Força de Van der Waals) e interações repulsivas.

Vale salientar, como já mencionado, que não houve significância na interação entre o tempo e a concentração, isto significa que os fatores influenciaram a amostra de maneira independente da associação desses dois elementos.

- **PH**

EFEITO DO TEMPO DE TRATAMENTO NA VARIAÇÃO DO PH PARA CADA CONCENTRAÇÃO DE TANINO

O pH da água apresentou comportamento dependente da concentração de tanino utilizada e do tempo de contato (Tabela 2). Inicialmente com o pH alcalino de 10,15 para a dose de 150 mg, a melhor faixa de pH (mais neutra) foi de 10 a 20 min, quando diminuiu para 7,78 aos 20 minutos e aumentou gradualmente até 8,57 aos 40 minutos. Já a concentração de 200 mg resultou em um pH significativamente mais variável, no qual a melhor faixa foi de 30 a 40 min. As duas concentrações foram ajustadas para um possível consumo conforme as referidas normas.

As diferenças entre as concentrações foram estatisticamente significativas na maioria dos tempos, conforme indicado pelas letras distintas na tabela (teste de Tukey, $P < 0,05$). Apenas aos 30 e 40 minutos, os valores não diferiram significativamente entre as concentrações, indicando um período de estabilidade momentânea na ação do tanino.

As oscilações do pH com a maior concentração de tanino podem ser explicadas pela natureza anfotérica do mesmo, tais quais as reações ocorridas, como mencionado anteriormente. Em seguimento, Justina (2017) cita que no processo de cationização, os radicais livres presentes na estrutura do tanino podem ser grupos OH^- ou H^+ , depende do monômero do polímero (tanino).

Em termos de média geral, a concentração de 200 mg apresentou pH médio de 9,524, superior ao valor médio de 8,290 observado para 150 mg. Na menor concentração, o pH apresenta um aumento gradual e linear (**equação 5**) ao longo do tempo, variando aproximadamente de 7,8 a 8,5. Já em 200 mg a variação é não linear, a primeira mudança ocorre com 9,48, diminui até cerca de 8,70 por volta de 30 min, e depois volta a subir até 10,22 aos 50 min., ou seja, apresenta comportamento em “U” (**equação 6**), mostrando um pico inicial, uma queda intermediária e aumento final, tendo a melhor faixa de pH no intervalo de 30 a 40 min. Em síntese, para um pH inicial de 10,15, houve variação conforme a concentração e o tempo pós agitação (2 min), enquanto uma se manteve em variação linear, a outra teve um

comportamento curvo, descritos em uma equação linear e a outra quadrática, respectivamente, as mesmas foram representadas em uma única figura (22) contendo os gráficos.

Tempo (min)	Concentração	
	150 (mg)	200 (mg)
10	7.977 B	9.483 A
20	7.780 B	9.967 A
30	8.423 A	8.700 A
40	8.573 A	8.460 A
50	8.537 B	10.223 A
60	8.450 B	10.310 A
Media	8,290	9,524

Tabela 3: Média de pH em função da concentração de um coagulante natural em diferentes períodos de tempo. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0.05$).

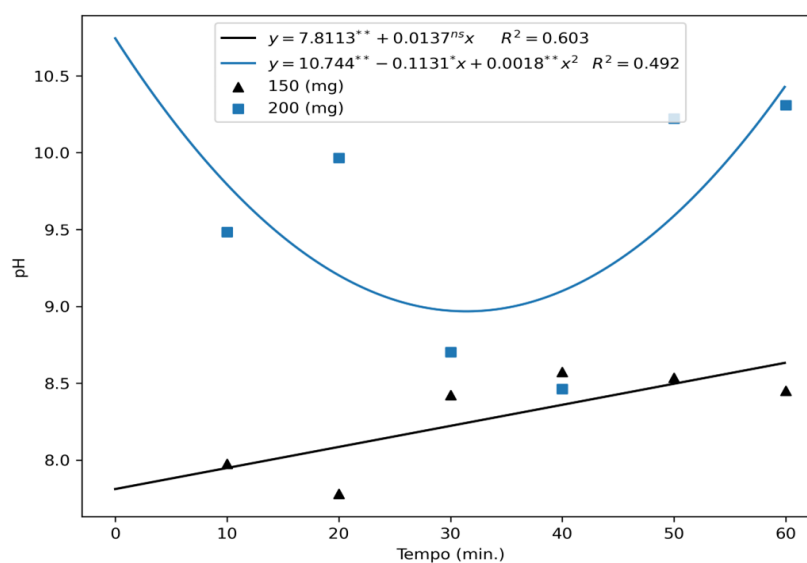


Figura 22: variação do pH em função do tempo sob duas concentrações. **, * e ns são, respectivamente, significativos a 1%, 5% e não significativo pelo teste T ($P < 0.05$).

• TENDÊNCIA GERAL pH

Equações de tendência e R^2

150 mg: $y = 7.8113 + 0.0137x$, $R^2 = 0,603$ (equação linear). (eq. 6)

200 : $y = 10.744 - 0.1131x + 0.0018x^2$, $R^2 = 0,492$ (equação quadrática). (eq.7)

7. CONCLUSÃO

A quantificação do TTC demonstrou que o tanino extraído da casca do eucalipto (*Eucalyptus* spp.), apesar de apresentar teores moderados, possui potencial de uso como coagulante natural no tratamento parcial da água, com algumas ressalvas de melhoria na metodologia, como por exemplo, a medição da umidade inicial do material úmido (antes da trituração) e o emprego da caracterização dos compostos no infravermelho também se faz importante no processo. O tanino cationizado diminuiu a turbidez, ainda que não tenha alcançado os padrões de potabilidade, influenciou o pH das amostras, confirmando a viabilidade do aproveitamento de resíduos florestais para fins tecnológicos e ambientais.

A maior concentração de tanino (200 mg/L) possibilitou a diminuição da turbidez de 150 NTU para 77,29 NTU, enquanto em função do tempo foi de 72,23 NTU, o que denota que o processo não atingiu a clarificação ideal para padrões de potabilidade (≤ 5 NTU) de acordo com a portaria GM/MS nº 888/2021, sugerindo a necessidade de ajuste da umidade, concentração, ou do intervalo de tempo na floculação pós mistura rápida, a fim de maximizar o desempenho da decantação das partículas.

Outra observação de suma importância é a escolha da espécie química de tanino, uma vez que suas interações podem assumir uma característica ácido-básica, a depender do meio, já que como foi discutido, os taninos são considerados ácidos fracos.

Olhar diante desse prisma permite agregar valor a um resíduo amplamente disponível, reduzido a um descarte nem sempre adequado e fortalecendo práticas de uma economia ecologicamente mais assertiva e circular. Além disso, o uso de taninos vegetais, obtidos por processos simples e de baixo custo, favorece o desenvolvimento de tecnologias limpas, podendo substituir parcialmente os coagulantes químicos em sistemas de tratamento.

A aplicação desse tipo de coagulante natural representa também uma solução socialmente relevante, visto que seu preparo e uso podem ser adaptados com metodologias mais rústicas, a pequenas comunidades ou áreas rurais desprovidas de saneamento básico. Dessa forma, o emprego do tanino extraído da casca do eucalipto contribui para o avanço de práticas sustentáveis no setor industrial, amplia o aproveitamento de resíduos florestais e oferece uma alternativa eficiente, economicamente integrada à produtividade e ambientalmente correta para a purificação da água.

8. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. C. S.; COSTA, E. B. A.; SANTOS, M. C. C.; MELO, B. M. L.; BRANDÃO, C. F. L. S.; TEODORO, I. **Situação ambiental e qualidade da água do rio Mundaú no município de Rio Largo**. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 2019, Fortaleza. Anais... Fortaleza: INOVAGRI, 2019.
- AZEVÊDO, T. K. B. de; PAES, J. B.; CALEGARI, L.; SANTANA, G. M. Teor de taninos condensados presente na casca de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*) em função das fenofases. *Floresta e Ambiente*, [S. l.], v. 24, e00026613, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.026613>. Acesso em: 1 nov. 2025.
- BATTESTIN, V.; MATSUDA, L. K.; MACEDO, G. A. **Fontes e aplicações de taninos e tanases em alimentos**. *Revista Alimentos e Nutrição*, Araraquara, v. 15, n. 1, p. 63–72, 2004.
- BORGES, L. P.; AMORIM, V. A. **Metabólitos secundários de plantas**. *Revista Agrotecnologia*, Ipameri (GO), v. 11, n. 1, p. 54–67, fev. 2020. Disponível em: https://www.revista.ueg.br/index.php/agrotecnologia/pt_BR/article/view/9705. Acesso em: 1 nov. 2025.
- BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 1 nov. 2025.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, n. 84, p. 127, 7 maio 2021. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em: 27 out. 2025.
- CONTÍ, R. E. Coagulante orgânico no tratamento de água: uma revisão sobre a eficácia do uso do tanino. **Anuário Pesquisa e Extensão Unoesc Videira**. 2024. Disponível em: <https://periodicos.unoesc.edu.br/apeuv/article/view/36874>. Acesso em: 4 nov. 2025.
- COUTO, L. C.; SCÁRDUA, A.; CORDEIRO, B.; RODRIGUES, C. **Taninos vegetais ou polifenóis**. Montes Claros: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/382637626_Autores_TANINOS_VEGETAIS_OU_POLIFENOIS_1_edicao.
- DAS, A. K.; ISLAM, M. N.; FARUK, M. O.; ASHADUZZAMAN, M.; DUNGANI, R. **Review on tannins: extraction processes, applications and possibilities**. *South African Journal of Botany*, Cape Town, v. 135, p. 58–70, 2020. DOI: 10.1016/j.sajb.2020.08.008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0254629920310267>. Acesso em: 2 nov. 2025.

DELA JUSTINA, M. **Aplicação de tanino vegetal como coagulante no tratamento de efluentes de laticínios e gestão do lodo para aplicação agrônômica**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Lages, 2017. Disponível em: https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/1546/Disserta__o_Marciel_Dela_Justina_15688146127876_1546.pdf. Acesso em: 3 nov. 2025.

FARIA, L. F. F.; MORAES, E. J. C.; MENDES, P. R. A. **Tratamento de efluente oriundo da produção de queijos utilizando coagulantes naturais**. Blucher Chemical Engineering Proceedings. São Paulo: Edgard Blücher, 2015. Disponível em: <http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/17485>. Acesso em: 3 nov. 2025.

GOMES, T. V. B. et al. **Tratabilidade de água superficial utilizando coagulantes naturais à base de tanino e extratos de sementes de Moringa oleifera**. Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde, Londrina, v. 21, n. 3, p. 152–155, 2017. DOI: 10.17921/1415-6938.2017v21n3p152-155. Disponível em: <https://ensaioseciencia.pgsscogna.com.br/ensaioeciencia/article/view/4800>. Acesso em: 3 nov. 2025.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório 2019**. Brasília, DF: IBÁ, 2019. 80 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Coeficiente de variação. Brasília: IBGE, 2018. Disponível em: https://ftp.ibge.gov.br/Indicadores_Sociais/Sintese_de_Indicadores_Sociais/Indicadores_Sociais_2018_tabulacoes_especiais/documentacao/Coeficiente_de_Variacao.pdf. Acesso em: 4 nov. 2025.

JIAO, R.; FABRIS, R.; CHOW, C. W. K.; DRIKAS, M.; LEEUWEN, J. V.; WANG, D.; XU, Z. Influence of coagulation mechanisms and floc formation on filterability. *Journal of Environmental Sciences*, v. 57, p. 338–345, jul. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.01.006>

LIMA, P. R.; ALMEIDA, I. V. de; VICENTINI, V. E. P. Os diferentes tipos de coagulantes naturais para o tratamento de água: uma revisão. *Evidência: Ciência e Biotecnologia – Interdisciplinar*, Joaçaba, v. 20, n. 1, p. 1–14, 2020. DOI: 10.18593/eba.24704. Disponível em: <https://periodicos.unoesc.edu.br/evidencia/article/view/24704>. Acesso em: 27 out. 2025.

MATOS, A. T.; CABANELLAS, C.; CECON, P.; BRASIL, M.; MUDADO, C. Efeito da concentração de coagulantes e do pH da solução na turbidez da água em recirculação utilizada no processamento dos frutos do cafeeiro. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 544–551, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/KLGCC9tLj448yBqc4Kj5Z6k/?lang=pt>. Acesso em: 31 out. 2025.

OLDONI, T. B.; STEFFENS, C.; DALLAGO, M. R.; STEFFENS, J. **Tanino como alternativa ao uso de coagulantes químicos no tratamento de efluente de laticínio**. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v. 10, n. 3, p. 100–116, 2022.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada.** 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001. Disponível em:

<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-21012003-084719/>. Acesso em: 1 nov. 2025.

PIROLA, A. C. F.; PINHEIRO, I. R.; PAES, J. B.; GONÇALVES, F. G. Potencial da aplicação de cascas de eucalipto para produção de tanases: uma revisão. In: **SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO: PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS.** São Paulo: Editora Científica, 2021. Cap. 3, p. 53–68. DOI: 10.37885/210605102. Disponível em:

<https://www.editoracientifica.com.br/books/chapter/210605102>. Acesso em: 1 nov. 2025.

PIOVESAN, J. V. **Desenvolvimento, caracterização e aplicação de novos eletrodos quimicamente modificados para determinação eletroanalítica de taninos.** 2018. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Programa de Pós-Graduação em Química, Florianópolis, 2018.

POYER, A.; SCHAEFER, L. **Obtenção de taninos a partir de extrato hidroalcoólico de folhas e flores de Lippia alba.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. Painel interativo: produção da extração vegetal e silvicultura 1994–2024. Brasília: SFB/MMA, 2025. Disponível em: <https://snif.florestal.gov.br/pt-br/paineis-interativos/producao-da-extracao-vegetal-e-silvicultura-1994-2024>. Acesso em: 2 nov. 2025.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. Painel interativo: produção industrial madeireira 2005–2023. Brasília: SFB, 2025. Disponível em: <https://snif.florestal.gov.br/pt-br/paineis-interativos/producao-industrial-madeireira-2005-2023>. Acesso em: 31 out. 2025.

SILVA, L. C. da. **Uso de taninos condensados das cascas de espécies arbóreas no tratamento de água.** 2024. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Macaíba, 2024.

TALIB, Y.; IDRIS, A.; ASLINA, S. **A tannin-based agent for coagulation and flocculation of municipal wastewater: chemical composition, performance assessment compared to polyaluminum chloride and application in a pilot plant.** Journal of Environmental Management, v. 184, p. 494–503, 2016.

TOMASI, I. T.; SANTOS, S. C. R.; BOAVENTURA, R. A. R.; BOTELHO, C. M. S.. **Microwave-assisted extraction of polyphenols from Eucalyptus bark: a first step for a green production of tannin-based coagulants water.** Water, Basel, v. 15, n. 2, p. 308, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/2/317>. Acesso em: 9 jun. 2025.

VAZ, L. G. L.; KLEN, M. R. F.; VEIT, M. T.; SILVA, E. A.; BARBIERO, T. A.; BERGAMASCO, R. **Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia.** Eclética Química, v. 35, n. 4, p.

45–54, 2010. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/eq/a/GPGnqcWnqbF9pYPqPn5jJgG/?lang=pt>. Acesso em: 27 out.
2025.

VIANNA, M. R. **Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água**. Belo Horizonte: Imprimatur, 2002. 576 p.