

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CENTRO
PAULA SOUZA
ETEC TRAJANO CAMARGO
MTEC-PI-QUÍMICA
PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO DO TCC EM QUÍMICA**

**Daniel Batistela
Erick Felisberto Santos
Nicolas Guidotti Stahl**

**O USO DE TANINOS EXTRAÍDOS DO ENGAÇO DA UVA COMO
SUBSTITUTO AOS SAIS INORGÂNICOS NO TRATAMENTO DE
EFLUENTES**

**Gislaine Aparecida Barana Delbianco
Reinaldo Blezer**

**Limeira-SP
2025**

**Daniel Batistela
Erick Felisberto Santos
Nicolas Guidotti Stahl**

**O USO DE TANINOS EXTRAÍDOS DO ENGAÇO DA UVA COMO
SUBSTITUTO AOS SAIS INORGÂNICOS NO TRATAMENTO DE
EFLUENTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso Técnica em Química da Etec Trajano
Camargo, orientado pelos professores Dra.
Gislaine Aparecida Barana Delbianco e
Reinaldo Blezer como requisito parcial para
obtenção do título de Técnico em Química

**Limeira-SP
2025**

Resumo

O estudo tem como foco o desenvolvimento e a avaliação de um coagulante natural obtido a partir de taninos extraídos do engaço da uva, um resíduo gerado em grandes quantidades pela indústria vitivinícola, com o objetivo de propor uma alternativa ambientalmente sustentável para o tratamento de efluentes industriais. A pesquisa surgiu da necessidade de reduzir o uso de coagulantes inorgânicos, como sulfato de alumínio e cloreto férrico, amplamente empregados, mas que produzem lodos tóxicos e de difícil descarte, além de apresentarem riscos significativos ao meio ambiente. O processo experimental envolveu a coleta de engaços de uva Niagara Rosada, sua lavagem, secagem, maceração e extração dos taninos por método sólido-líquido com solvente hidroalcoólico e refluxo adaptado. O extrato obtido apresentava coloração marrom-escura e pH ligeiramente ácido. Na etapa de síntese do coagulante, o tradicional formaldeído da reação de Mannich foi substituído por hidróxido de amônio, conferindo maior segurança e menor toxicidade ao processo, em conformidade com os princípios da química verde. O produto resultante foi aplicado em ensaios de coagulação e floculação (jar-test) utilizando efluente galvânico, onde apresentou formação eficiente de flocos e boa remoção de cor e turbidez. Apesar de não superar completamente a eficiência dos coagulantes comerciais, o desempenho obtido foi considerado bastante promissor, evidenciando o potencial dos taninos vegetais como substitutos renováveis e biodegradáveis dos sais metálicos tradicionais. Dessa forma, o trabalho demonstra que o aproveitamento do engaço da uva pode contribuir para a redução de impactos ambientais, para a valorização de subprodutos agrícolas e para o avanço de tecnologias limpas e circulares na área da química ambiental e do tratamento de águas residuais.

Palavras-chave: tanino; sustentabilidade; tratamento de efluentes.

Abstract

The study focuses on the development and evaluation of a natural coagulant obtained from tannins extracted from grape stems, a residue generated in large quantities by the winemaking industry, with the aim of proposing an environmentally sustainable alternative for industrial wastewater treatment. The research arises from the need to reduce the use of inorganic coagulants, such as aluminum sulfate and ferric chloride, which are widely used but produce toxic sludge that is difficult to dispose of and pose significant environmental risks. The experimental process involved collecting stems of Niagara Rosada grapes, washing, drying, grinding, and extracting tannins using a solid–liquid method with a hydroalcoholic solvent and adapted reflux. The resulting extract, dark brown in color and slightly acidic in pH, was characterized by the presence of typical phenolic compounds. In the coagulant synthesis stage, formaldehyde from the traditional Mannich reaction was replaced by ammonium hydroxide, providing greater safety and lower toxicity to the process, in accordance with the principles of green chemistry. The resulting product was applied in coagulation and flocculation tests (jar test) using galvanic wastewater, where it showed efficient floc formation and good color and turbidity removal. Although it did not fully surpass the performance of commercial coagulants, the results were considered very promising, demonstrating the potential of plant tannins as renewable and biodegradable substitutes for traditional metallic salts. Thus, the work demonstrates that the use of grape stems can contribute to reducing environmental impacts, adding value to agricultural by-products, and promoting the advancement of clean and circular technologies in the field of environmental chemistry and wastewater treatment.

Key-words: tannins; sustainability; wastewater treatment.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	6
2 OBJETIVOS.....	8
2.1 Objetivo Geral.....	8
2.2 Objetivos Específicos.....	8
3 ASSUNTOS RELACIONADOS AO TEMA	9
3.1 O que é tanino	9
3.1.1 Modificação Química dos Taninos	10
3.1.1.1 Reação de Mannich	11
3.2 Processo Atual de Tratamento de Efluente.....	12
3.3 Coagulantes Inorgânicos no Tratamento de Efluentes.....	13
3.3.1 Sulfato de Alumínio	13
3.3.2 Cloreto Férrico	15
3.4 Coagulante Orgânico no Tratamento de Efluente	15
3.5 Etapa de Coagulação e Floculação	16
3.6 Lodo	18
3.7 Legislação Pertinente	20
3.8 Mercado de Vinho no Brasil.....	22
3.9.1 Composição dos Efluentes Vinícolas	23
3.9.2 Composição dos Efluentes Galvânicos	23
3.9.3 Composição dos Efluentes da Indústria de Laticínios	24
4 MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1 Coleta Dos Engaços.....	25
4.2 Preparação Dos Engaços Da Uva	26
4.3 Caracterização Dos Engaços Da Uva.....	27
4.3.1 Teor de umidade	27
4.4 Extração Do Tanino	27
4.5 Concentração Do Extrato	29
4.6 Caracterização Do Extrato	29
4.6.1 pH	30
4.7 Síntese Do Coagulante.....	30
4.8 Jar-Test.....	31
5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS	32
5.1 Caracterização do Engaço da Uva	32
5.2 Extração de Taninos do Engaço da Uva	32

5.3 Caracterização Químicas do Extrato de Tanino	33
5.4 Síntese do Coagulante	34
5.5 Jar-test.....	36
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	39

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Nos últimos anos, o mercado brasileiro vitivinícola vem apresentando uma expansão. Segundo a Organização Internacional da Vinha e do Vinho (OIV), o Brasil, em 2023, ocupou o 14º lugar no ranking mundial em produção de vinhos e o 15º lugar em produção de uva. Além disso, alcançou mais de 80 mil hectares de área plantada.

Com o mercado em crescimento, todos os processos, desde a concepção do produto até o consumidor final, devem ser considerados, inclusive o tratamento mais adequado aos resíduos que são gerados durante as etapas, principalmente aquelas do processo produtivo, segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). Para a produção do vinho, são gerados efluentes e resíduos sólidos que na sua maioria não são reutilizados com fins econômicos (VICENTE *et al*, 2021).

Em comparação com outras atividades industriais, as vinícolas até recentemente eram caracterizadas por mínima poluição ambiental, com poucos impactos negativos causados nos recursos naturais, mas isso está mudando, pois, os resíduos da vinificação, material orgânico (como casca), semente de uva e efluentes causam grandes problemas ecológicos se dispostos de forma inadequada no ambiente (SOCEANU *et al*, 2021).

A quantidade de efluente resultante das atividades do setor vitivinícola é estimado em um valor global aproximado de $7,5 \cdot 10^{10}$ litros anualmente (AMORIM; SANTOS, 2024). Chegando à geração de até 1 litro de efluente para cada litro de bebida produzida.

Os efluentes gerados neste segmento devem receber um tratamento adequado e rigoroso, obedecendo a Lei 9.433/97. Desta maneira, há necessidade das vinícolas em tratar seus efluentes antes do descarregamento no ambiente, e para isso podem ser empregados processos físicos, químicos e biológicos (SALTON, 2024).

Denota-se que os sistemas mais empregados no Brasil são os constituídos por filtros e reatores biológicos, lagoas de estabilização, coagulação e decantação. (SALTON, 2024).

Os coagulantes mais utilizados em processos de coagulação/flocação de água e efluentes pertencem à classe dos inorgânicos. Dentre os principais estão os sais de alumínio, sais de ferro e suas formas pré-polimerizadas (GIROLETTI, 2021). Apesar do excelente desempenho destes agentes coagulantes, fomentaram-se, nas

últimas décadas, discussões acerca da problemática ambiental em relação ao potencial tóxico destes coagulantes e o grande volume de lodo rico em resíduos de hidróxidos metálicos não biodegradáveis (GIROLETTI, 2021). Dessa forma, alguns coagulantes naturais a base de taninos e alternativos ao sulfato de alumínio têm sido testados no tratamento dessas águas, apresentando elevada eficiência de coagulação (SCHNEIDER *et al*, 2023).

O tanino é um coagulante de origem vegetal encontrado em variedade de plantas. São formados por moléculas fenólicas biodegradáveis que possuem a capacidade de formar complexos com proteínas e outras macromoléculas e minerais. (SANTOS *et al.*, 2020). Atuam em sistemas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre essas partículas, processo que é responsável pela formação dos flocos e, por consequência, a sedimentação (SANTOS *et al.*, 2020).

Esse coagulante natural pode ser extraído de várias espécies vegetais, usando desde técnicas simples como a extração sólido-líquido em Soxleht até técnicas mais avançadas como a extração assistida por ultrassom (GIROLETTI,2021).

Os engaços de uva têm se demonstrado uma ótima alternativa sustentável para obtenção de taninos e mais do que isso, têm sido usados na síntese de um coagulante eficaz no desempenho do processo de coagulação/flocação de um efluente (MENDONÇA, 2021).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Estudar a viabilidade de se utilizar taninos extraídos do engaço da uva e sintetizados com uma rota alternativa a reação de Mannich no tratamento de efluentes industriais, substituindo ou diminuindo a quantidade de sais inorgânicos para flocação.

2.2 Objetivos Específicos

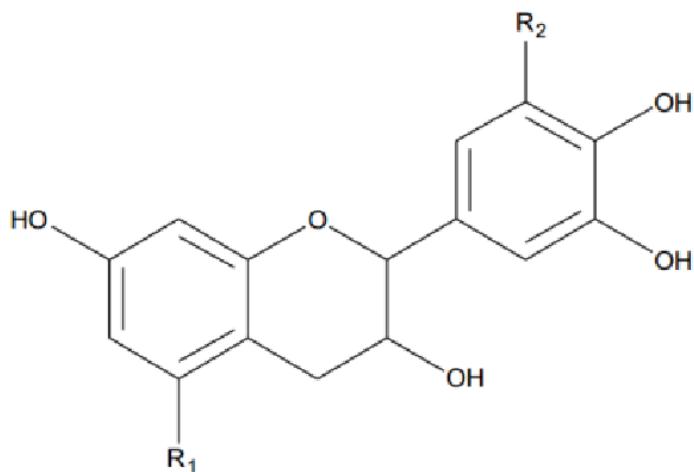
- Checar a viabilidade do uso de taninos no tratamento de efluentes
- Substituir os sais inorgânicos do processo de tratamento de efluentes
- Extrair tanino do engaço da uva
- Sintetizar um coagulante em rota alternativa a reação de Mannich, utilizando hidróxido de amônio
- Diminuir a quantidade de lodo gerado
- Aplicar os conceitos da economia circular na indústria

3 ASSUNTOS RELACIONADOS AO TEMA

3.1 O que é tanino

Os taninos são definidos como moléculas fenólicas biodegradáveis com capacidade de formar complexos com proteínas e outras macromoléculas e minerais (Figura 1). São extraídos da casca de vegetais, como da *Acacia mearnsii* (acácia negra) (SKORONSKI *et al.*, 2014).

FIGURA 1: Principal monômero do tanino.



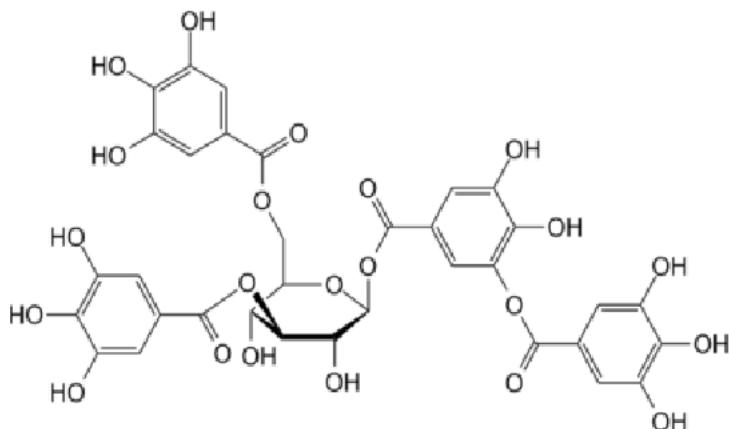
FONTE: GUSMÃO, 2014.

Uma das principais classificações dos taninos é aquela que os divide em dois grandes grupos: os condensados e os hidrolisáveis (Figura 2 e 3) (GUSMÃO, 2014). Ambos os grupos apresentam estrutura polimérica, sendo o primeiro grupo constituído principalmente por flavonoides, e o segundo grupo formado pela esterificação de ácidos fenólicos com açúcares (GUSMÃO, 2014).

Os taninos são moléculas com propriedades coagulantes, que desestabilizam os coloides com a eliminação da camada de solvatação, diminuindo o potencial zeta durante o processo de coagulação e, assim, permitindo a formação de flocos (SKORONSKI *et al.*, 2014).

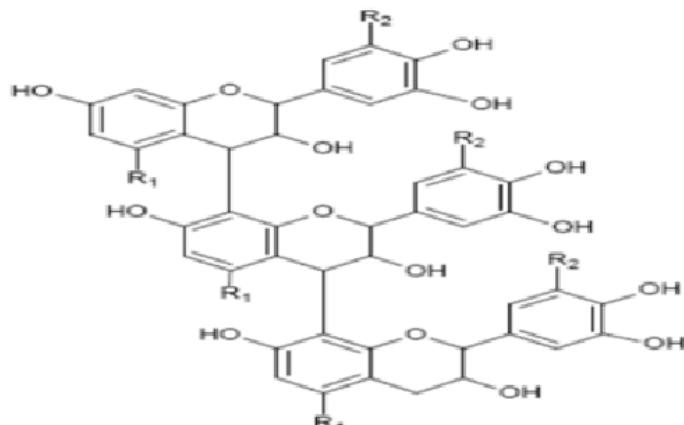
A denominação “hidrolisável” deve-se à facilidade de hidrólise das ligações formadas na esterificação, enquanto a denominação “condensado” se deve à dificuldade de quebra das ligações C-C, que mantém a molécula íntegra (GUSMÃO, 2014). Tanto os taninos hidrolisáveis quanto os condensados possuem diversos grupos hidroxila ligados aos anéis, o que confere boa capacidade de complexação de substâncias orgânicas e íons metálicos (GUSMÃO, 2014).

FIGURA 2: Molécula de tanino hidrolisável.



FONTE: GUSMÃO, 2014.

FIGURA 3: Molécula de tanino condensado.



FONTE: GUSMÃO, 2014.

Por ser de origem vegetal, a utilização de coagulante a base de tanino possibilita um tratamento que gera lodo biodegradável e sem necessidade de correção posterior de pH. Além disto, a obtenção deste coagulante a partir de fontes renováveis pode auxiliar na diminuição de acúmulo de resíduos (SKORONSKI *et al*, 2014).

3.1.1 Modificação Química dos Taninos

Em relação à utilização de taninos como coagulantes/floculantes é necessário realizar um processo de modificação na sua estrutura. Esse processo é a cationização, que tem por finalidade estabelecer um caráter catiônico nas moléculas de tanino favorecendo a neutralização de cargas no processo de coagulação (MACHADO, 2019). Uma grande variedade de reações químicas pode ser aplicada na modificação da estrutura química dos taninos, especialmente dos condensados.

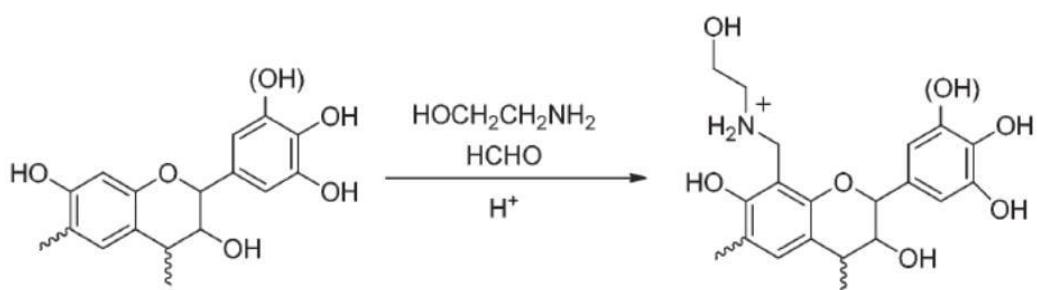
Esses compostos podem ser modificados quimicamente, quando se objetiva um aumento da sua reatividade dos grupos OH, acrescer sua solubilidade em solventes orgânicos, ou ainda para melhorar seu processamento (GIROLETTI, 2021).

3.1.1.1 Reação de Mannich

A reação de Mannich, também conhecida como reação de metilação de amina, é uma reação química orgânica na qual um composto (tipicamente um composto carbonílico) contendo hidrogênio reativo é condensado com formaldeído e amina secundária ou amônia para formar um composto β-amino (carbonílico) (Figura 4). Essa reação ocorre em duas etapas, na primeira ocorre a formação inicial da imina e na segunda etapa a formação da base de Mannich (QUAN *et al*, 2023; MACHADO, 2019).

O polímero de tanino resultante da reação apresenta um maior peso molecular, devido às ligações cruzadas formadas na reação na presença de formaldeído e da base da Mannich. Outra característica do produto da reação é o caráter anfótero devido à presença de aminas catiônicas e grupamentos fenólicos aniônicos (Figura 4)

FIGURA 4: Reação de Mannich com taninos.



FONTE: GIROLETTI, 2021.

Uma das maiores vantagens da reação de Mannich, é sua capacidade de proporcionar uma série de ligações entre o substrato e os agentes reacionais que fornecem diversas possibilidades de formação de novos produtos (GIROLETTI, 2021). Já um dos problemas da reação de Mannich para cationização de taninos é a necessidade da utilização de formaldeído, composto prejudicial para a saúde humana e meio ambiente, e parte dele pode permanecer no produto final por não haver reagido completamente. Nesse contexto, o estudo de novas metodologias de produção de

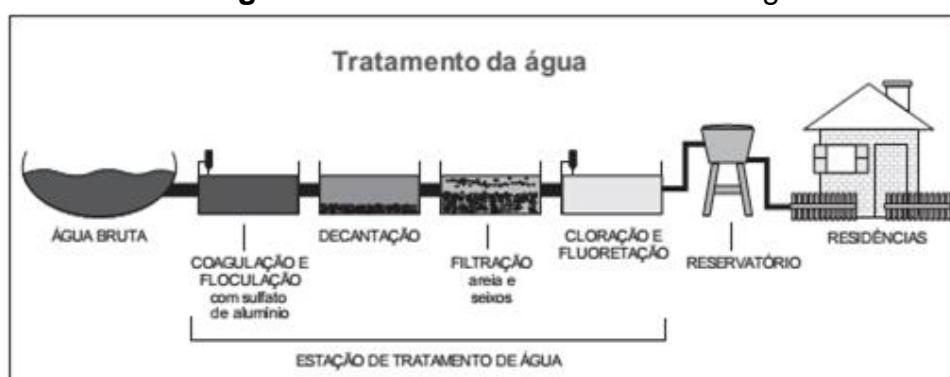
floculantes a partir de taninos sem a utilização de formaldeído é extremamente relevante (MACHADO, 2019)

3.2 Processo Atual de Tratamento de Efluente

A técnica mais utilizada atualmente para tratamento de efluente é basicamente a mesma desde o século XVIII, sendo as principais diferenças relacionadas ao controle, automação e instrumentação do processo e as leis de qualidade da água (GUSMÃO, 2014).

Antes de ser descartado, o efluente precisa passar por um tratamento para que sejam removidos alguns poluentes e sólidos que nela estão contidas. Para remover os sólidos e metais, geralmente o tratamento compreende a clarificação da água e a desinfecção (OLIVEIRA, 2019). Entre os métodos disponíveis de tratamento de efluente, a coagulação e floculação é um tratamento de baixo custo, simples, confiável e de baixa energia e comumente praticado. O mesmo consiste em adicionar um coagulante para neutralizar as cargas negativas dos compostos e assim formar aglomerados de partículas, flocos, que consigam ter peso para que decantem devido à gravidade, removendo assim partículas solúveis, coloidais e suspensas, clarificando a água (Figura 5) (OLIVEIRA, 2019).

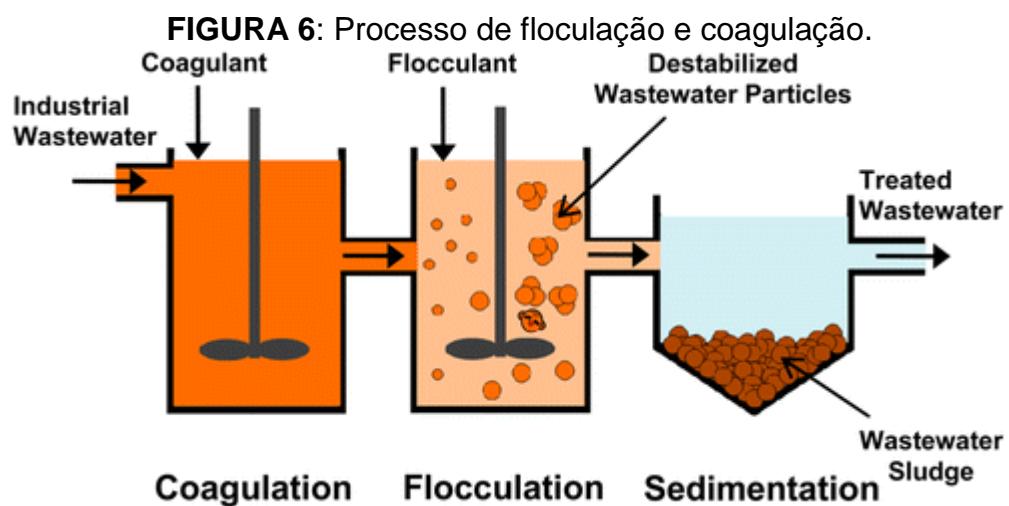
Figura 5: Processo de tratamento de água.



FONTE: SANEPE, 2024.

Coagulantes no tratamento de efluente são produtos químicos usados para remover sólidos suspensos da água. O tratamento por coagulação neutraliza a carga elétrica negativa nas partículas, o que desestabiliza as forças que mantêm os coloides separados. Os coagulantes de tratamento de água são compostos por moléculas carregadas positivamente que, quando adicionadas à água e misturadas, realizam essa neutralização de carga. Coagulantes inorgânicos e coagulantes orgânicos, ou uma combinação dos dois tipos, são tipicamente usados para tratar a água para a

remoção de sólidos suspensos (CHEMTREAT, 2024). A floculação no tratamento da água refere-se ao processo de partículas menores na água se juntando para formar massas maiores chamadas flocos. Floculantes são as substâncias usadas para incentivar o processo de criação de flocos (Figura 6) (CHEMTREAT, 2024).



FONTE: WERJEN, 2024.

3.3 Coagulantes Inorgânicos no Tratamento de Efluentes

Os coagulantes inorgânicos são os coagulantes mais usados, destacando os sais de alumínio, devido ao fato de apresentarem baixo custo e capacidade de coagulação comprovada no tratamento de água e efluente. Porém o uso dos coagulantes inorgânicos apresenta uma preocupação ambiental, pois o lodo gerado pode conter íons solúveis, assim dificultando a sua disposição final e podendo causar danos à saúde humana (ALMEIDA, 2019).

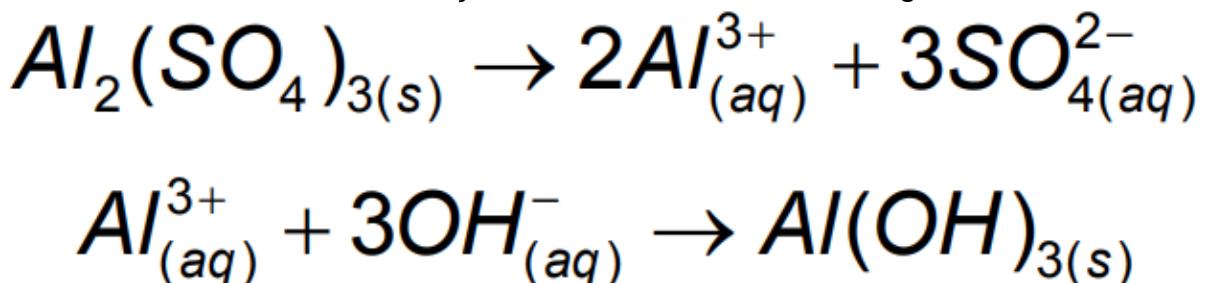
Possíveis impactos ambientais são constantemente discutidos como consequências da utilização de coagulantes inorgânicos a base de alumínio e ferro. Os resíduos gerados nos processos de coagulação e floculação são ricos em hidróxidos metálicos não biodegradáveis. O lodo obtido ao final apresenta potencial ecotoxicológico e necessita de tratamento e disposição ambiental correto, pois concentra diversos componentes orgânicos e inorgânicos, configurando-se como uma fonte de poluição secundária (ABREU, 2018).

3.3.1 Sulfato de Alumínio

O sulfato de alumínio é usado no tratamento de efluentes desde os egípcios, e atualmente é um dos coagulantes inorgânicos mais utilizados no mundo e

proporciona a eliminação quase total dos sólidos em suspensão ou coloidais presentes nos efluentes (SILVA *et al*, 2020). Ele é produzido pela reação entre o ácido sulfúrico (H_2SO_4) e a bauxita em meio aquoso. Após a evaporação da água presente na reação, o produto final apresenta a fórmula $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, com um teor de alumínio variando de 7,4 a 9,5%. Quando disposto em uma solução aquosa, o $Al_2(SO_4)_3$ dissocia-se rapidamente e forma íons complexados (Figura 7) que são fortemente adsorvidos pelas partículas coloidais, ocasionando a redução das cargas negativas, promovendo desta forma a coagulação/flocação (GIROLETTI, 2021).

FIGURA 7: Reação do sulfato de alumínio na água.



FONTE: RUSOMOV, 2025.

Atualmente, existe uma orientação da OMS – Organização Mundial da Saúde que estabelece como concentração máxima de alumínio total na água potável, de 0,2 miligramas por litro (mg/l). Esta concentração foi proposta, principalmente por critérios de aspecto e gosto da água e não por critérios relacionados à saúde (ABAL, 2024).

Estudos realizados na China, Estados Unidos da América e Europa demonstraram que a utilização de sais de alumínio no processo de coagulação pode aumentar significativamente as concentrações de residual de alumínio nas águas tratadas (SILVA *et al*, 2020). A presença de residual de alumínio no final do tratamento poderá levar ao aumento da turbidez, à diminuição da eficiência do processo de desinfecção e à deposição do precipitado hidróxido de alumínio na rede de distribuição, diminuindo a capacidade hidráulica (SILVA *et al*, 2020). Além disso, os resíduos de alumínio na água, provenientes do uso do sulfato de alumínio de forma inadequada, podem contribuir para algumas doenças no organismo humano, como

osteoporose, hiperatividade e dificuldade de aprendizado em crianças, e até mesmo para os males de Alzheimer e Parkinson (SILVA *et al*, 2020).

3.3.2 Cloreto Férrico

Os sais de ferro (como o cloreto férrico, sulfato ferroso clorado e sulfato férrico) são, também, muito utilizados como agentes coagulantes para tratamento de água. Reagem de forma a neutralizar cargas negativas dos coloides e proporcionam a formação de hidróxidos insolúveis de ferro. Devido à baixa solubilidade dos hidróxidos férricos formados, eles podem agir sobre ampla faixa de pH (VAZ *et al*, 2010).

No processo com sais de ferro, a formação de floco é mais rápida do que as com sais de alumínio devido ao seu alto peso molecular, contudo sais de ferro ainda podem apresentar caráter ácido, corrosivo e acentuado índice de formação de lodo, causando graves prejuízos ao meio ambiente por sua utilização (MARTINS; OLIVEIRA; GUARDA, 2014)

3.4 Coagulante Orgânico no Tratamento de Efluente

Com relação aos floculantes orgânicos, existem dois principais grupos de compostos disponíveis comercialmente: materiais sintéticos feitos a partir de diferentes monômeros como acrilamida, ácido acrílico e cloreto de dialildimetilamônio; e materiais orgânicos de origem natural, tais como: amido, celulose, alginato, taninos e gomas naturais (MACHADO, 2019).

Esses compostos podem apresentar caráter catiônico, aniônico, poli-iônico e não-iônico conforme descrito a seguir:

- Coagulantes orgânicos catiônicos: são agentes constituídos por moléculas poliméricas de carga positiva. Como por exemplo sementes de Moringa oleífera e taninos modificados quimicamente pela reação de Mannich. São efetivos no processo de coagulação/flocação de águas residuais, apresentando melhor desempenho em pH menor que 7 (GIROTTI, 2021)
- Coagulantes orgânicos aniônicos: são constituídos de moléculas poliméricas com carga negativa, como por exemplo, *cactos opuntia*, sementes de milho e tanino naturais extraídos das cascas de árvores, principalmente das acárias e

castanheiras. Tipicamente a coagulação/flocação com estes agentes é mais efetiva na faixa de pH de 6,5 a 8,5 (GIROLETTI, 2021)

- Coagulantes orgânicos poli-iônico: são anfóteros, ou seja, atuam como coagulantes neutros, em faixas de pH ácido e básico. Um exemplo clássico destes agentes são os taninos comerciais, produzidos pela reação de Mannich (GIROLETTI, 2021)
- Coagulantes não-iônicos: também são constituídos por moléculas poliméricas, mas diferentemente das outras classes, estes possuem carga zero. Como por exemplo, os compostos de polissacarídeos e amidos. A faixa de pH ideal para a coagulação/flocação com estes agentes, varia de 6,5 a 8,5 (GIROLETTI, 2021)

Os coagulantes de origem orgânica naturais ou sintetizados apresentam várias vantagens em comparação com os sais químicos: O lodo gerado após tratamento apresenta tanto um menor volume como se encontra livre de metais pesados, e ainda é biodegradável, não altera significativamente o pH e possuem baixa toxicidade (ALMEIDA, 2017; SALTON, 2024).

3.5 Etapa de Coagulação e Flocação

A coagulação e a flocação em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) configuram etapas que regem o sucesso das etapas seguintes. Enquanto na coagulação são desestabilizadas as partículas presentes no meio, após introdução de coagulante e agitação intensa, na flocação são promovidos encontros entre as partículas desestabilizadas por meio de agitação lenta (Figura 8) (MORUZZI *et al*, 2016).

O processo de coagulação ocorre com a adição de um coagulante químico que retira as cargas eletrostáticas negativas dos coloides, diminuindo o seu potencial repulsivo e os aglutinando (SILVA *et al*, 2019). Sob o ponto de vista da eletrostática, o que caracteriza a etapa de coagulação é a redução do potencial zeta das partículas em suspensão, através da adição de espécies iônicas adequadas (GUSMÃO, 2014).

Para que haja um bom funcionamento do processo de coagulação devem ser levados em consideração alguns fatores como pH, concentração do coagulante, agitação e o tempo de sedimentação. No Brasil, o coagulante mais utilizado é o sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) (SILVA *et al*, 2019).

Os coagulantes inorgânicos apresentam elevada eficiência na remoção de materiais suspensos, no entanto, possuem desvantagens como a geração de grandes quantidades de lodo e de efluentes contendo metais, que podem colocar em risco a saúde humana (OLIVEIRA, 2019). As principais vantagens dos coagulantes naturais frente aos inorgânicos e sintéticos incluem a alta disponibilidade da matéria prima, muitas vezes renovável; baixa corrosividade sobre o sistema de distribuição; diminuição de até cinco vezes do volume de lodo gerado no processo, que além de biodegradável apresenta maior valor nutricional (OLIVEIRA, 2019).

A floculação ocorre em sequência, com uso ou não de um floculante fazendo com que as partículas se organizem em flóculos de maior dimensão e densidade, podendo ser retirados posteriormente por filtração e/ou decantação (SILVA *et al*, 2019).

A floculação pode ser dividida em duas etapas conhecidas como floculação pericinética (microfloculação) e floculação ortocinética (macrofloculação). A primeira etapa ocorre logo após a coagulação e está relacionada ao movimento Browniano das partículas. Esse mecanismo é dependente da energia térmica e da concentração das partículas no meio. A segunda etapa está relacionada a interação das partículas formadas durante a floculação pericinética, em função do gradiente de velocidade aplicados ao sistema. Desta forma, a velocidade e tempos de agitação da etapa de floculação contribui para o aumento da probabilidade de colisão entre as partículas (ALVES,2019).

FIGURA 8: Exemplificação da coagulação e floculação



FONTE: WERJEN, 2024.

Usualmente, polímeros sintéticos são utilizados como floculantes, que atuam como pontes que adsorvem e ligam as partículas coloidais em água, formando flocos maiores que podem ser facilmente removidos por sedimentação. Apesar dos polímeros

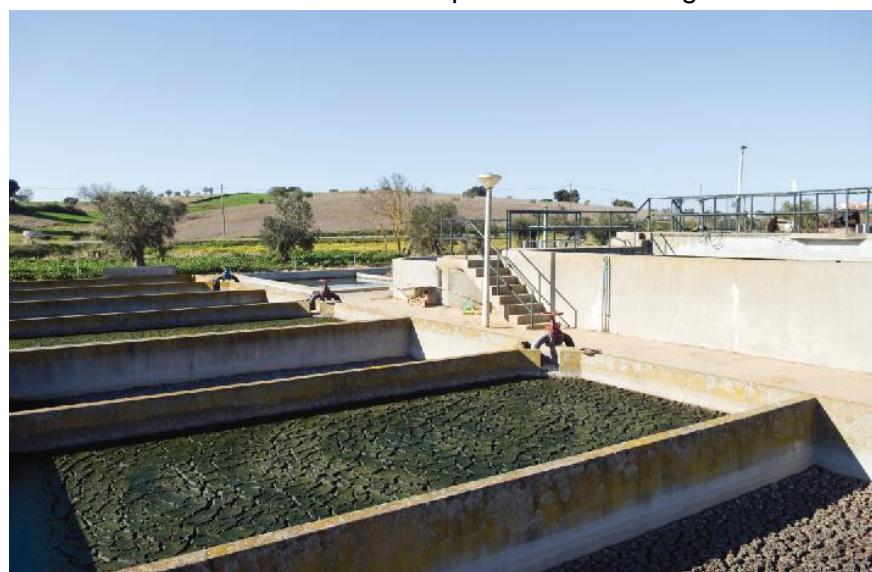
sintéticos serem os mais utilizados, floculantes sintéticos podem conter contaminantes que afetam a saúde humana e podem reagir com outros produtos químicos presentes na água, levando a formação de reações secundárias indesejadas. Por isso, alguns autores estudam o uso de polímeros naturais e biodegradáveis como floculantes (ALVES, 2019).

3.6 Lodo

Os processos de coagulação geram resíduos sólidos denominados lodos, que por sua relativa facilidade de sedimentação e baixa compressibilidade resultam em grandes volumes de rejeitos (GROTTO, 2021).

Uma das primeiras etapas no tratamento de efluentes consiste na adição de agentes coagulantes e floculantes visando a remoção de materiais particulados, como partículas inorgânicas, coloides, resíduos orgânicos e, inclusive, bactérias e outros organismos (GROTTO, 2021). Os processos de coagulação geram resíduos sólidos denominados lodos (Figura 9), que por sua relativa facilidade de sedimentação e baixa compressibilidade resultam em grandes volumes de rejeitos (GROTTO, 2021).

FIGURA 9: Lodo em processo de secagem.



FONTE: RUBIM, 2013.

Os sais de alumínio, usados no tratamento de água, Apesar de eficientes coagulantes, geram lodos não biodegradáveis que precisam ser dispostos em aterros específicos. O Lodo é enquadrado como resíduo sólido pela NBR 10004/2004 (Norma

Brasileira de Classificação de Resíduos Sólidos), devendo seguir a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (Lei Federal 12.305/2010) baseada na Lei 11.445/2007 das Diretrizes Nacionais de Saneamento Básico e do Decreto 7.217/2010 que faz cumprir esta Lei (MORAES, 2018). Segundo a NBR 10004, este lodo normalmente é classificado como classe IIA (Não Inerte) e deve ser disposto em aterro específico para resíduo de classe IIA, havendo acréscimo nos custos de deposição e do transporte do lodo até o aterro (SKORONSKI, 2014).

O lodo é constituído de materiais inorgânicos como siltes e sílicas, matéria orgânica degradável, com presença de micro-organismos patógenos e metais, oriundos do próprio manancial de captação ou do coagulante utilizado durante o processo de coagulação (MORAES, 2018). De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento de 2008, realizada pelo IBGE, dos 2098 municípios brasileiros que geravam lodo no processo de tratamento de água, 67% destinavam esse lodo aos rios, enquanto apenas 2% realizavam o reaproveitamento desse resíduo (GROTTO, 2021).

Outra forma de descarte é a disposição em aterros sanitários após desidratação (15 a 25% de teores de sólidos), mas este processo é muito oneroso, já que é cobrado por tonelada depositada e, nem sempre há um aterro legalizado próximo ao município, sendo necessário a realização de translado (MORAES, 2018). O IBGE (2010) ressalta que devido aos custos de desidratação e falta de aterros licenciados próximos às estações são os fatores apontados para a baixa procura (3,44%) (MORAES, 2018).

O lançamento do lodo em corpos hídricos devolve os materiais anteriormente removidos, mas por outro lado, os químicos utilizados facilitam a sedimentação desses materiais, causando assoreamento dos rios, baixando a qualidade da água, podendo causar impactos à vida aquática, e causar eutrofização dos corpos hídricos pelos nutrientes presentes (MORSELLI *et al*, 2022). Quando o lodo de ETA é descartado na água, não só a qualidade da água, mas a do solo também é afetada, há traços de metais que se acumulam no solo irrigado com canais que recebem esse lodo, e no verão ocorre alta acumulação de nutrientes, metais, carga orgânica e bactérias na água (MORSELLI *et al*, 2022)

O alto custo é um dos fatores mais relevantes na definição do destino do lodo de ETA, visto que o lançamento em rios é o método mais barato, apesar de haver

parâmetros mais rigorosos na legislação brasileira para o descarte desse resíduo em corpos hídricos, essa vem sendo a escolha mais utilizada pelas ETAs brasileiras (MORSELLI *et al*, 2022)

Ainda vale ressaltar que a disposição final dos resíduos de estações de tratamento é um verdadeiro desafio para os países, já que o processo, segundo o Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB) é complexo, além de representar 20% a 60% dos custos de operação de uma estação de tratamento (GROTTO, 2021).

Com o advento de leis que obrigam as ETAs a dispor de maneira adequada seus resíduos, o interesse por produtos alternativos ao sulfato de alumínio cresceu, em especial por produtos que produzissem menor quantidade de lodo ou então que não contivessem metais em sua composição, o que tornaria possível a sua utilização como adubo (GUSMÃO, 2014).

O lodo de ETA possui potencial agrícola, no entanto seu aproveitamento depende das características da água bruta e do coagulante utilizado (MORSELLI, 2022).

3.7 Legislação Pertinente

De acordo com a resolução CONAMA Nº 01/1986, impacto ambiental pode ser definido como “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II - as atividades sociais e econômicas;
- III - a biota;
- IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V - a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986).

No Brasil existem leis e normas que regulam o tratamento e descarte de efluentes e punem as empresas que realizam essas atividades de maneira inadequada.

A resolução CONAMA N° 430/2011 dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente e complementando a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2011).

A Lei N° 12.305/2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL,2010).

A Lei N° 9.605/1998 - Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e das outras providencias (BRASIL,1998).

Em resumo, efluentes gerados neste segmento devem receber um tratamento adequado e rigoroso, obedecendo a Lei 9.433/97, que institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos e as Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA 357/2005 e CONAMA 430/2011 - para não impactar o meio ambiente de forma negativa (SALTON, 2024).

Além disso há incentivos fiscais para aquelas empresas que tratam seu efluente. A Lei n.º 11.196, de 21 de novembro de 2005 (conhecida como "Lei do Bem"), estimula às atividades de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação nas empresas brasileiras, incluindo na área de tratamento de efluentes. Esse incentivo ocorre através da dedução de impostos dos valores investidos. Até 2014, essa dedução correspondeu a uma renúncia fiscal do Governo Federal em torno de R\$ 11,5 bilhões, o que representa aproximadamente 19% do total investido em PD&I até esse período.

A Portaria GM/MS nº 888 do Ministério da Saúde estabelece os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, incluindo o padrão de potabilidade. Também ressalta a responsabilidade dos órgãos de controle ambiental no que se refere ao monitoramento e ao controle das águas brutas de acordo com os mais diversos usos (BRASIL, 2022).

3.8 Mercado de Vinho no Brasil

O consumo de vinho no Brasil tem apresentado crescimento acentuado nas duas últimas décadas. A maior parte deste crescimento no consumo, entretanto, se baseia em vinhos provenientes de outros países. De acordo com a OIV, o consumo de vinho no Brasil aumentou em 11,6% entre 2022 e 2023, subindo de 2,1 para 2,4 litros per capita.

Além disso, o Brasil aparece com destaque como o país da América Latina onde as áreas de vinhedos crescem significativamente, com um acréscimo de 1,5% na área de plantio, totalizando hoje 83 mil hectares – é o terceiro país do mundo em crescimento real de área plantada, atrás apenas de Rússia e Índia. Crescemos também no volume de produção de vinho: um ganho de 12% em relação ao ano anterior, engarrafamos 3,6 milhões de hectolitros (BRASILDEVINHOS, 2024).

De acordo com dados do IBGE (2023), no Brasil foram produzidas 1.757.891 toneladas de uva através de 77.019 hectares de área colhida com rendimento médio nacional sendo de 22.824 Kg por hectare. O valor da produção total do país foi de R\$5.308.250 com o Rio Grande do Sul sendo o maior produtor do país com um valor de produção de R\$1.761.272.

A área com viticultura se concentra na Região Sul, que representou 73% da área total nacional. O Rio Grande do Sul é o principal estado produtor, representando 62,41% da área vitícola nacional, o que corresponde a uma área de 46.815 ha. O estado de Santa Catarina apresentou uma área de 3.940 ha e o Paraná 4.000 ha (MELLO; MACHADO, 2022).

Na Região Sudeste o estado de São Paulo, grande produtor de uva de mesa, apresentou a mesma área do ano anterior, 8.022 ha de videiras, 10,69% da área nacional. Em Minas Gerais ocorreu aumento de 4,79% na área plantada com videira, atingindo 1.270 ha. No Espírito Santo, ainda com área bastante reduzida, 198 ha, diminuiu a área em 4,35% no último ano e, no estado do Rio de Janeiro, registrou-se apenas 24 ha com videiras. A Região Sudeste representou 12,68%, da área vitícola do país (MELLO; MACHADO, 2022).

A região Nordeste representou 14,04% da área vitícola nacional e concentrou sua viticultura no Vale do São Francisco (Pernambuco e Bahia). Pernambuco é o maior estado produtor com 8.256 ha, que representa 11,00% da área nacional. Na Bahia, com 2.119 ha, ocorreu aumento de 7,62% na área com videiras. Nos demais

estados o cultivo da videira é ainda muito reduzido, embora o interesse pela cultura venha aumentando. Considerando que nessa região, em especial no Vale do São Francisco, devido às condições climáticas e de sistemas de produção que permitem a realização de até duas safras e meia por ano (MELLO; MACHADO, 2022).

3.9 COMPOSIÇÃO DOS EFLUENTES INDUSTRIAIS

3.9.1 Composição dos Efluentes Vinícolas

Os efluentes vinícolas são compostos por resíduos de subprodutos (engaços, sementes, cascas, borras, tartaratos), perdas de produtos brutos (perdas de mosto e de vinho ocorridas por acidente ou durante as lavagens), produtos usados para o tratamento do vinho (colas, terras de filtração) e produtos de limpeza e de desinfecção usados para lavar materiais e pisos. Assim, as águas residuais contêm proporções variáveis de constituintes do mosto e do vinho: açúcares, etanol, ésteres, glicerol, ácidos orgânicos (como o cítrico, tartárico, málico, láctico, acético), compostos fenólicos e uma população numerosa de bactérias e de leveduras, elementos facilmente biodegradáveis, exceto pela presença de polifenóis (ORTIGARA, 2009).

A sazonalidade da geração interfere no efluente, pois de dezembro a março é ácido, devido ao período de vinificação, e alcalino durante o resto do ano devido às lavagens dos equipamentos/estruturas (ANTUNES, 2016).

3.9.2 Composição dos Efluentes Galvânicos

Os efluentes são constituídos por derrames, arrastes e respingos dos tanques de lavagem das peças e banhos de deposição metálica, purgas do lavador de gases e lavagem de piso e equipamentos e podem conter cianuretos, metais pesados, solventes, surfactantes, óleos e graxas. Os efluentes são encaminhados para a estação de tratamento por meio de uma rede de coleta formada por canaletas impermeabilizadas. O lodo galvânico é considerado resíduo perigoso pois sua disposição no solo pode resultar na liberação de compostos, tais como metais, em níveis acima dos regulamentos e os limites ambientais (ALVES *et al*, 2014).

Efluentes líquidos provenientes do descarte de:

- banhos químicos;
- águas de lavagem;

- produtos auxiliares (desengraxantes, decapantes, passivadores, etc.);
- óleos solúveis ou não, para corte ou revestimento das peças.

Os efluentes líquidos geralmente são coloridos, alguns com temperatura superior a ambiente e emitem vapores, seus pHs geralmente atingem os extremos ácido ou alcalino. No caso dos óleos, geralmente verificam-se manchas no solo, principalmente nos locais de acúmulo de sucatas (PONTE, 2002).

3.9.3 Composição dos Efluentes da Indústria de Laticínios

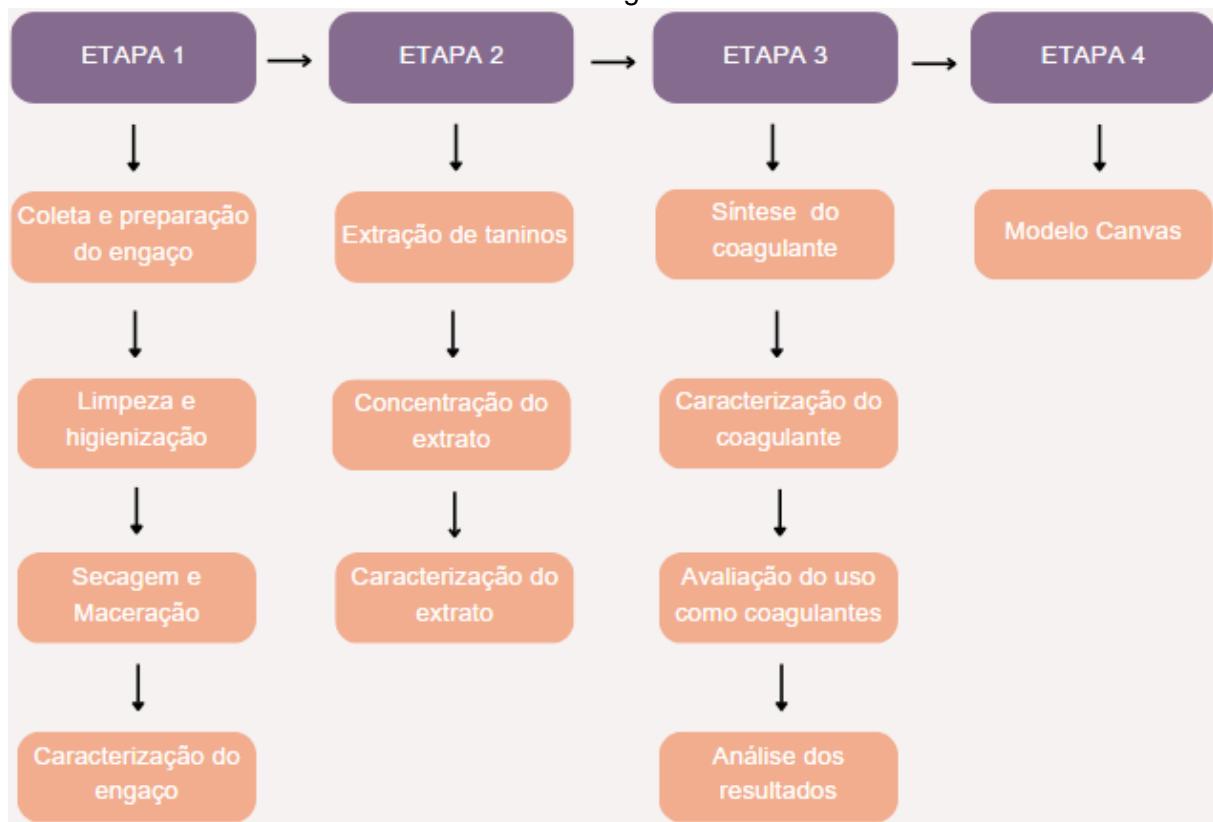
A composição dos efluentes dessas indústrias consiste, principalmente, de quantidades variáveis de leite diluído, materiais sólidos flutuantes de uma variedade de fontes (principalmente substâncias graxas), detergentes, desinfetantes lubrificantes e esgoto doméstico. No processamento do leite, as operações geradoras de despejos significativamente poluentes são: lavagem e desinfecção de equipamentos (tanques, dornas, centrífugas, pasteurizador-homogeneizador, tubulações, etc.), quebra de embalagens contendo leite, perdas nas enchedeiras e lubrificação de transportadores (HENARES, 2015).

O soro é o principal agente poluidor dos laticínios e, quando transformado em queijo, representa 90% do volume do leite, pois para produzir 1 kg de queijo são necessários 10 L de leite, o que gera 9 L de soro. A produção de queijo em 2013, no Brasil, foi de 722.000 t, o que gerou 695 milhões de litros de soro. Portanto, a importância ambiental do soro está relacionada ao volume, ao baixo aproveitamento e ao potencial poluidor. Dez litros de soro descartado equivalem à poluição causada por cinco habitantes, além de aumentar a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e o risco de eutrofização das águas (SILVA *et al*, 2018).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

As atividades experimentais foram realizadas no laboratório de química sob a supervisão da professora responsável, Gislaine Aparecida Barana Delbianco e Reinaldo Blezer, conforme os fluxogramas abaixo (Figura 10) baseados nos trabalhos de GIROLETTI (2021); SALTON (2024); e MACHADO (2019).

FIGURA 10: Fluxograma de atividades



FONTE: Os autores, 2025

4.1 Coleta Dos Engaços

Os engaços de uva da cultivar Niagara Rosada foram coletados na vitivinícola Família Ferragut, localizada em Vinhedo/SP e no supermercado OBA Hortifrúti, localizado em Limeira/SP. Ao todo foram coletados 250g de engaço.

A cultivar Niagara Rosada é uma uva de mesa de vigor moderado, mutada a partir da Niagara Branca desde 1933, cultivada principalmente nas regiões Sul e Sudeste (EMBRAPA, 2025). A Niagara Rosada é utilizada principalmente como uva de mesa, sendo a referência de uva de mesa comum no Brasil. As plantas são medianamente vigorosas e alcançam produtividades de até 30 ton.ha⁻¹.ano⁻¹. É resistente a antracnose e podridões e seu manejo é simples, semelhante a cultivar

Isabel. Os cachos têm tamanho mediano, pesando entre 150 a 200 g. As bagas são médias, arredondadas, polpa fundente, coloração vermelha ou rosada, sabor e aroma ‘foxado’ típico das uvas americanas, doce e teor de sólidos solúveis de 15 a 17º Brix (LEÃO, 2021).

4.2 Preparação Dos Engaços Da Uva

Após a coleta, promoveu-se a separação de qualquer casca ou polpa de uva residual. Os engaços, agora livres dos resíduos, foram levados ao laboratório e lavados com água destilada, a fim de remover as impurezas e material particulado. Posteriormente, os mesmos passaram por um processo de secagem em temperatura ambiente, por um período de 2 semanas, se atentando em não os deixar expostos ao sol diretamente, pois a radiação UV poderia comprometer as propriedades do engaço. Após a secagem, os engaços foram macerados de maneira a deixar as partículas com tamanhos entre 1cm de comprimento e 0,5 de espessura (Figura11), isto pois, de acordo com GIROLETTI (2021), a extração de taninos em engaços é mais eficaz com as partículas maiores, pois assim facilita a passagem do solvente no momento da extração. Isso ocorre porque uma maceração superficial preserva canais de passagem no interior do material vegetal, favorecendo o contato do solvente com os taninos, otimizando a extração.

FIGURA 11: Engaço seco pronta para



FONTE: Os autores, 2025

4.3 Caracterização Dos Engaços Da Uva

Os engaços foram caracterizados quanto ao teor de umidade, seguindo a metodologia descrita a seguir:

4.3.1 Teor de umidade

Para a umidade, aplicou-se o método Adolfo Lutz. Considerando que os engaços de uva foram submetidos a uma pré-secagem em estufa, as análises de umidade compreenderam apenas as amostras de engaços in natura.

Para esta análise, uma alíquota de 10 gramas de engaços de uva foi transferida para um cadinho de porcelana calcinada por 1 hora a 100 °C. Então, este conjunto amostra-recipiente foi colocado em estufa a 105°C por 6 horas, em intervalos de 1h, onde eram acondicionadas em um dessecador para atingirem a temperatura ambiente e finalmente serem pesados em balança analítica.

O teor de umidade das amostras in natura foi calculado aplicando a equação 1:

$$\text{Umidade: \%} \frac{pb - pc}{pb - pa} \times 100 = \quad (1)$$

Onde:

pa = Peso da cápsula de porcelana calcinada (g).

pb = Peso da cápsula de porcelana mais amostra in natura (g).

pc = Peso da cápsula de porcelana mais amostra totalmente seca (g)

4.4 Extração Do Tanino

A extração do tanino dos engaços de uva é normalmente realizada pela técnica *SLE* (Extração Sólido-Líquida) em processo contínuo no extrator de Soxhlet. Contudo, considerando que o uso do extrator Soxhlet requer equipamentos não disponíveis em nosso laboratório e um tempo maior de extração, este trabalho promoveu adaptações na metodologia com o objetivo de otimizar os recursos utilizados.

De acordo com SANTON (2024) a solubilidade dos taninos é afetada pelos grupos hidroxilas, que são polares e hidrofílicos, desta maneira, são solúveis em água, acetona e álcool. GIROLETTI (2021) e SANTON (2024) utilizaram uma solução

hidroalcólica na extração de taninos do engaço de uva. Desta maneira, foi utilizado uma solução hidroalcólica composta por 50% de água destilada e 50% de etanol (álcool 70%) como solvente.

Considerando que a solubilidade dos taninos se torna mais efetiva quando realizada em solução aquecida, os aparelhos de extração foram montados sobre uma bateria de aquecimento com temperatura aproximada de 90 °C. O sistema de extração era composto por 1 balão de vidro de fundo chato com capacidade unitária de 500mL e 1 condensador de bolas com um mecanismo de entrada de água. Foi mantida uma proporção de 1:15, sendo 8,5g de engaço para 130mL de solvente.

Para a extração, uma porção de 8,5 gramas de engaços de uva, previamente preparado, foi inserida no balão. Posteriormente, foram adicionados 130mL de solvente. O mecanismo de entrada de água foi contínuo, mantendo o resfriamento do condensador para que ocorresse o refluxo (Figura 12). O processo de refluxo é usado em química para acelerar termicamente uma reação específica. Isso é feito conduzindo-a a uma temperatura alta e controlada. A função de um condensador aqui é resfriar os vapores gerados e convertê-los novamente à forma líquida. O componente líquido é então enviado de volta à caldeira. Portanto, a função do condensador de refluxo é interromper a perda de solvente, aumentando assim o tempo de reação durante o qual o balão pode ser aquecido (DEEPAK, 2016).

FIGURA 12: Sistema de extração.



FONTE: Os autores, 2025

4.5 Concentração Do Extrato

O extrato de tanino obtido nas condições otimizadas foi retirado dos balões e direcionado para a etapa de concentração de sólidos. Esta operação foi necessária para obtenção de uma solução mais concentrada, pois, segundo GIROLETTI (2021), um extrato muito diluído impossibilita a determinação de substâncias tânicas e interfere negativamente na reação de síntese do coagulante. Por questões de tempo, não foram realizadas as análises de sólidos totais necessárias para determinar a eficiência da concentração, por tanto, o método utilizado foi à verificação da coloração. Um extrato mais concentrado apresenta uma cor marrom-escura, diferente da cor do extrato diluído.

Nesta etapa, utiliza-se, normalmente, um evaporador rotativo. Porém, como a realização desse processo demanda equipamentos de custo elevado, alguns ajustes foram feitos. Em vez disso, utilizaremos o banho-maria (Figura 13) para o aquecimento e evaporação, ligando e desligando a máquina para controlar a temperatura, mantendo a mesma perto de 60°C. Após isso, a amostra foi acondicionada em frasco âmbar.

FIGURA 13: Etapa de concentração do extrato.



FONTE: Os autores, 2025

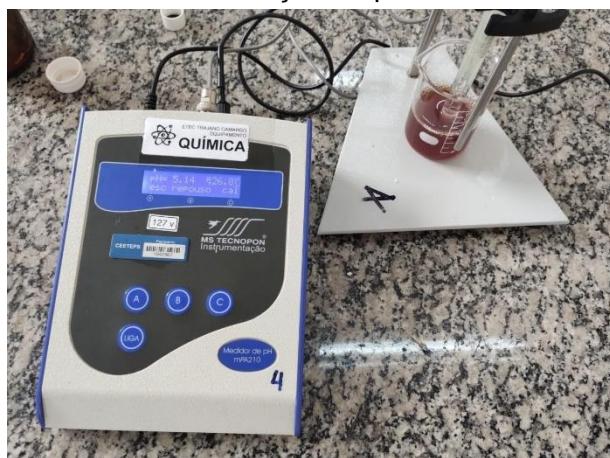
4.6 Caracterização Do Extrato

O extrato de tanino obtido, foi caracterizado quanto a pH.

4.6.1 pH

O pH foi medido utilizando um pHmetro de bancada mPA 210, fabricado pela empresa MS Tecnopan, após a devida calibração utilizando as soluções tampões (Figura 14).

FIGURA 14: Medição do pH do extrato.



FONTE: Os autores, 2025

4.7 Síntese Do Coagulante

Um caminho comum para a síntese de um coagulante orgânico é a reação de Mannich. Esse método, embora eficiente na modificação de taninos para aumentar sua capacidade coagulante, envolve o uso de formaldeído, um composto altamente tóxico e ambientalmente problemático. Por isso, utilizamos a metodologia proposta por MACHADO (2019) para a modificação de taninos empregando hidróxido de amônio (NH_4OH). O NH_4OH atua como fonte de grupos amina, promovendo a cationização dos taninos. Essa substituição está alinhada com os princípios da química verde, reduzindo riscos à saúde humana e ao meio ambiente, além de simplificar o processo reacional.

Para a síntese, 30mL de NH_4OH foi transferido para um bêquer e condicionado à agitação constante. Logo após, foi adicionado por gotejamento, 30mL do extrato tânico, em uma proporção de 1:1 com o extrato, ainda em agitação constante, dentro da capela. A agitação foi finalizada após 4 horas, contando a partir do fim da adição do extrato.

Após a reação, a mistura foi acidificada utilizando ácido clorídrico (HCl), até pH 1, a fim de diminuir a volatização em forma de amônia e protonar os grupos nitrogênicos.

4.8 Jar-Test

O jar-test foi realizado com efluente galvânico, pois a geração de efluente vinícola tem seu pico entre os meses de dezembro e março, período de safra. Portanto, houve a dificuldade por parte do grupo em encontrar efluentes oriundos dessa indústria.

O efluente coletado foi transferido em alíquotas de 100mL para um béquer de vidro sob um agitador magnético. Após isso, foi adicionado 5mL de extrato de tanino para a solução e foi iniciado o processo de agitação pelo agitador magnético, primeiro em uma agitação rápida por 5 minutos e depois em agitação lenta por 20 minutos. Após o processo de agitação, o béquer foi deixado decantando por 30 minutos.

5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.1 Caracterização do Engaço da Uva

Com vista em uma melhor compreensão das características do engaço da uva, foi necessário proceder uma caracterização do material. Por razões de tempo, optamos por determinar apenas o teor de umidade total do engaço in natura, e os resultados estão descritos na tabela abaixo:

Tabela 1: Teor de umidade do engaço.

PARÂMETRO	% ENCONTRADA PELO GRUPO	% ENCONTRADA NA LITERATURA
UMIDADE	50,07	88,6 (GIROLETTI, 2021); 73 (CABRAL, 2020)

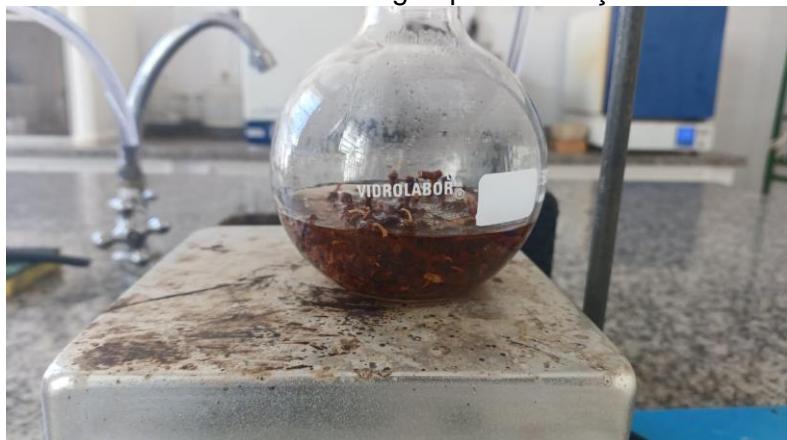
FONTE: Os autores, 2025

A análise da tabela 1, nos revela um teor de umidade total (50,07%) abaixo dos teores obtido por GIROLETTI (2021) e CABRAL (2020), que obtiveram 88,6% e 73%, respectivamente. Porém, Barros et al (2015) relata que os valores podem variar entre 55 e 80%, a depender da espécie da cultivar. Este percentual relativamente baixo, pode ser justificado pelo armazenamento longo e inadequado das amostras, fazendo com que houvesse perda de parte da umidade antes da análise. Portanto, para trabalhos futuros será necessário repetir a análise, melhorando os métodos de conservação.

5.2 Extração de Taninos do Engaço da Uva

A extração de taninos do engaço da uva, foi realizada pelo método de extração sólido-líquido em um sistema de extração por sob refluxo composto por um balão de fundo chato e um condensador sobre uma bateria de aquecimento. Após a finalização da extração obteve-se 260mL de extrato de coloração Marrom (Figura 15). Essa coloração, também observada por GIROLETTI (2021) E SALTON (2024), indica que a extração foi bem-sucedida, uma vez que a pigmentação característica dos taninos é amarela-marrom e quando solubilizados conferem tonalidade escura às soluções (García-Estévez et al., 2017).

FIGURA 15: Cor logo após a extração.



FONTE: Os autores, 2025

Porém, a coloração pode ser alterada de acordo com o solvente utilizado, como observado por GIROLETTI (2021), que atestou que ao usar etanol puro como solvente, por exemplo, o extrato apresentou coloração verde escuro. Ela explica que essa diferença de coloração pode estar associada à extração de outros compostos que foram favorecidos pelas características dos solventes, como por exemplo a clorofila.

Além da cor, uma característica importante do extrato é o teor de taninos condensados, pois, segundo VICENTE (2021), o teor de taninos condensados presentes está diretamente ligado à sua eficiência na remoção de turbidez. Infelizmente, não foi possível quantificar esse teor em nosso trabalho, mas SANTON (2024) e GIROLETTI (2021), através do método Stiasny, que se baseia na avaliação gravimétrica de produtos precipitados pela reação do tanino com o formaldeído na presença de HCl, obtiveram teores de 15,44 e 15,18, respectivamente.

5.3 Caracterização Químicas do Extrato de Tanino

O extrato de tanino foi submetido a um processo de concentração em banho-maria (Figura 13) com temperaturas entre 60 e 90Cº. No decorrer do processo, de 130mL de extrato foram removidos cerca de 50mL de solvente, o que corresponde a cerca de 38% de massa total evaporada. Em processos realizados utilizando o evaporador rotativo, esse valor pode chegar a até 45%, diminuindo o tempo necessário, além de se conseguir recuperar o solvente utilizado. Um extrato concentrado está diretamente relacionado à sua capacidade de atuação como coagulante natural e sua eficácia depende da quantidade disponível por volume de extrato.

O extrato também foi caracterizado quanto ao pH (Tabela 2), que apresentou um valor de 5,14, um pouco abaixo do 6,7 encontrado por GIROLETTI (2021). A diferença observada entre o pH do extrato de tanino obtido neste trabalho e o valor reportado por GIROLETTI (2021), de 6,7, pode ser atribuída principalmente ao método de concentração utilizado, o banho-maria opera em atmosfera aberta com maior tempo de exposição ao oxigênio. Isso facilita oxidação de fenóis e formação de produtos mais ácidos. Enquanto GIROLETTI empregou um evaporador rotativo, este estudo utilizou o método de banho-maria, que apresenta menor controle térmico e de pressão. Além disso, a utilização do equipamento adequado diminui a degradação dos compostos fenólicos.

Já o método alternativo, promove uma maior exposição a oxigenação e à luz solar, o que segundo MACHADO (2015) pode acarretar a modificação da estrutura do tanino, degradação e dissolução dos complexos dos substratos de tanino, inativação e modificação de membrana, além de aumentar os riscos de oxidação e degradação fúngica.

Tabela 2: pH do extrato e do coagulante.

PARÂMETROS	ENCONTRADO PELO GRUPO	ENCONTRADO NA LITERATURA	COMERCIAL
pH do extrato concentrado	5,14	6,7 (GIROLETTI, 2021) 5,74 (SALTON, 2024)	-
pH do coagulante sintetizado	0,08	1,4 (GIROLETTI, 2021)	1,3 - 2,3
Densidade (g/cm ³)	1,05		1,06

FONTE: Os autores, 2025

5.4 Síntese do Coagulante

O coagulante foi produzido baseado na modificação do extrato de tanino com hidróxido de amônio, onde o reagente atua como fonte de nitrogênio e agente nucleofílico, reagindo com os grupos fenólicos dos taninos, uma rota alternativa à reação de Mannich, utilizadas na maioria dos casos. Nesta última, os taninos sofrem uma aminometilação pela reação de um aldeído e uma amina, sendo o formaldeído o mais utilizado. Segundo MACHADO (2019), o formaldeído é um composto solúvel em água, altamente reativo com macromoléculas biológicas e rapidamente metabolizável,

o que o torna tóxico para humanos. A exposição ao formaldeído causa efeitos adversos primeiramente nos tecidos e órgãos com os quais o composto entra em contato mais rapidamente, como os tratos respiratório e aerodigestivo, bem como mucosas orais e gastrointestinais. Por isso, o estudo de novas metodologias de produção de floculantes a partir de taninos sem a utilização de formaldeído é extremamente relevante.

Em sua metodologia MACHADO (2019) testou diferentes ordens de adição dos reagentes, ou seja, adição do NH₄OH ao extrato tânico, ou o contrário, e obteve resultados idênticos. Outro teste realizado foi da proporção de hidróxido de amônio em comparação ao extrato, variando de 1:1 a 1:10, e obteve que a razão de reagentes não tem influência significativa nas condições de reação. Portanto, optamos pela razão de 1:1 para otimizar o uso de reagentes.

Após o período de 4 horas de reação, a mistura apresentou um tom castanho escuro em sua coloração (Figura 16), diferente da coloração marrom escuro do início do processo (Figura 17), após a adição do hidróxido de amônio. Não há, na literatura encontrada pelo grupo, um relato sobre a cor após a reação, porém, GIROLETTI (2021), que utilizou a reação de Mannich para modificar o extrato tânico, relatou uma coloração também castanho, que segundo ela, decorre das características do extrato tânico que apresentava coloração vermelha.

FIGURA 16: Coloração ao final da reação



FIGURA 17: Coloração no início da reação



FONTE: Os autores, 2025

Uma outra característica apresentada pela mistura final, após a adição de HCl, foi a formação de um precipitado. Ao ser adicionado hidróxido de amônio (NH_4OH) e ácido clorídrico (HCl), o sistema é submetido a variações acentuadas de pH. Nessas condições, a natureza anfotérica dos taninos — isto é, sua capacidade de atuar tanto como doadores quanto como aceitadores de prótons — permite que estes neutralizem as cargas provenientes das espécies básicas e ácidas adicionadas. Esse processo de neutralização de cargas modifica o equilíbrio eletrostático e coloidal do sistema, reduzindo a repulsão entre partículas carregadas e promovendo sua aproximação e agregação. Como consequência, ocorre a coagulação das moléculas ou complexos presentes no extrato, levando à formação de flocos e posterior sedimentação.

Inicialmente, houve a preocupação de que esta sedimentação prejudicasse os testes de coagulação, reduzido o poder de ação do coagulante. Porém, os resultados prévios obtidos pelo grupo indicam que não houve diminuição na ação floculante do composto, mas para um resultado completo, haverá a necessidade de novas análises. Após a síntese do coagulante, o mesmo foi reservado até a data do jar-test, que ocorreu em 09/10/2025, cerca de 2 semanas depois da síntese.

5.5 Jar-test

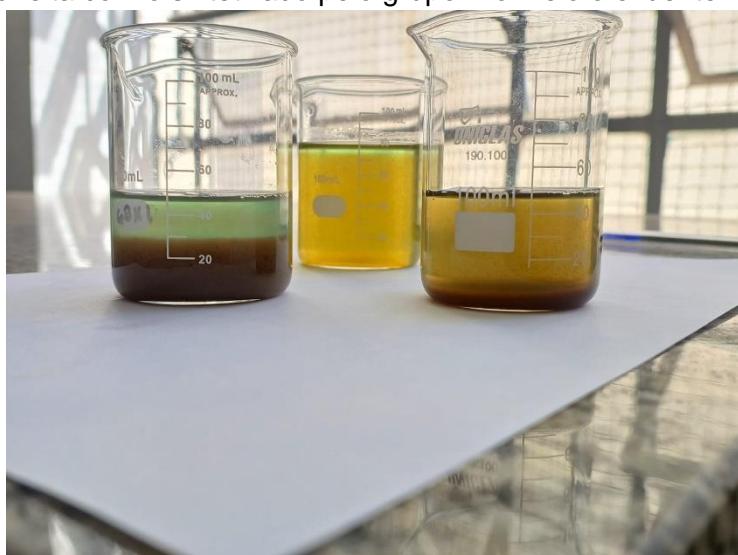
Nesta etapa inicial, foram conduzidos apenas testes de eficiência de coagulação, sem se atentar às características do efluente, como pH, turbidez, cor, condutividade elétrica etc.

O efluente utilizado para este trabalho, foi coletado em uma galvânica da cidade de limeira, sem nenhum tratamento prévio e provenientes de atividades de galvanoplastia, mais especificamente de fábricas que realizam o chamado banho químico, onde os metais são revestidos por outros mais nobres. O efluente bruto galvânico pode apresentar majoritariamente metais pesados como zinco, cobre, níquel, cádmio, cromo e chumbo na sua composição, além de apresentar consideráveis quantidades de materiais dissolvidos que influenciam na cor e na turbidez do efluente residual (BARBOSA, 2019).

Importunamente, o efluente galvânico apresenta caráter catiônico, o que diminuiu a eficiência da coagulação com o tanino sintetizado, também catiônico. Para trabalhos futuros será necessário utilizar outros tipos de efluentes, de preferência com caráter aniônico para maximizar os resultados.

A concentração inicial do coagulante orgânico não sintetizado utilizado foi de 1%, aumenta para 3% e 5%, onde nesse último caso, apresentou os melhores resultados (Figura 18). Para o coagulante orgânico comercial foram utilizadas concentrações de 1% e 2%, apresentando ótimos resultados, com grande diferença em relação a formação de flocos. Todos os testes foram realizados utilizando 50mL de efluente.

FIGURA 18: Teste de coagulação. À esquerda, com o coagulante comercial e à direita com o sintetizado pelo grupo. Ao meio o efluente Bruto.



FONTE: Os autores, 2025

A análise da figura nos mostra que o coagulante orgânico não sintetizado obteve bons resultados preliminares, porém ainda distantes em comparação com o coagulante orgânico comercial.

Após esses testes foram realizados testes de coagulação com o coagulante orgânico sintetizado com hidróxido de amônio, utilizando uma concentração de 2% e 3%, onde 3% mostrou os melhores resultados. O teste promoveu uma coagulação consideravelmente melhor que a previamente vista com o coagulante não sintetizado, mostrando mais remoção de cor e maior formação de flocos (Figura 19).

FIGURA 19: Teste de coagulação com coagulante



FONTE: Os autores, 2025

Apesar de não serem feitos grande partes dos testes para caracterização do efluente, por conta da má gestão de tempo pelo grupo, os resultados ainda sim mostraram promissores para o uso do extrato de tanino como coagulante, especialmente após a síntese. De qualquer forma é de grande interesse a realização de testes como pH, turbidez e condutividade elétrica para futuras pesquisas sobre esse tema.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos anos, houve crescimento expressivo do setor vitivinícola brasileiro e, consequentemente, aumento na geração de resíduos e efluentes industriais. Esse cenário motivou a busca por alternativas ambientalmente sustentáveis para o tratamento desses resíduos. Verificou-se que os coagulantes inorgânicos, largamente utilizados, apresentam riscos ambientais e produzem lodos tóxicos de difícil descarte. Diante disso, investigou-se o uso de taninos extraídos do engaço da uva, resíduo da produção vinícola, como substituto dos sais metálicos. O objetivo foi propor uma solução mais limpa, eficaz e alinhada aos princípios da economia circular. Espera-se que o aproveitamento desse material contribua para a redução de impactos ambientais e agregue valor à cadeia produtiva do vinho.

O objetivo geral foi avaliar a viabilidade do uso de taninos extraídos do engaço da uva no tratamento de efluentes industriais, empregando-se uma rota de síntese alternativa à reação de Mannich. Especificamente, buscou-se a substituição dos sais inorgânicos tradicionais, a redução da geração de lodo, a aplicação de conceitos de sustentabilidade e a avaliação da eficiência do coagulante natural produzido. Pretendeu-se também verificar o enquadramento dos efluentes tratados nos padrões legais de qualidade da água. Com este trabalho, pretende-se contribuir para o desenvolvimento de tecnologias mais verdes, aproveitando subprodutos agrícolas como insumos químicos úteis e renováveis, refletindo preocupação com a inovação sustentável na área da química ambiental.

Taninos são compostos fenólicos biodegradáveis capazes de formar complexos com proteínas e metais, divididos em hidrolisáveis e condensados. Para atuarem como coagulantes, passam por modificação química, geralmente pela reação de Mannich, que confere caráter catiônico à molécula, embora envolva o uso de formaldeído, substância tóxica ao meio ambiente. O tratamento de efluentes baseia-se nas etapas de coagulação e floculação, nas quais coagulantes inorgânicos, como sulfato de alumínio e cloreto férrego, são amplamente utilizados, mas geram lodo não biodegradável e apresentam riscos ambientais. Coagulantes orgânicos de origem natural surgem como alternativa sustentável, oferecendo menor toxicidade, biodegradabilidade e redução na geração de resíduos.

As etapas experimentais foram realizadas no laboratório de química da ETEC Trajano Camargo. Foram coletados engaços de uva Niagara Rosada em vinícolas e

mercados locais; os materiais foram lavados, secos, macerados e preparados para extração. A extração de taninos foi efetuada por método sólido-líquido com solvente hidroalcoólico e refluxo adaptado, seguida da concentração do extrato em banho-maria. O extrato obtido foi caracterizado quanto ao pH e ao teor de taninos condensados. Para a síntese do coagulante, o formaldeído da reação de Mannich foi substituído por hidróxido de amônio, tornando o processo mais seguro e ecológico. Finalmente, o coagulante foi aplicado em um jar-test utilizando efluente galvânico, avaliando-se visualmente a formação de flocos e a clarificação do líquido. Os resultados não obtiveram sua eficiência máxima pelo caráter catiônico presente no efluente galvânico, assim como no coagulante de tanino sintetizado pelo grupo.

Os resultados experimentais indicaram que o engaço da uva apresentou teor de umidade adequado e que o método de extração foi eficiente, gerando um extrato de coloração marrom-escura, característica de taninos. O pH ligeiramente ácido corroborou a presença de compostos fenólicos. Durante a síntese, registraram-se alterações de coloração e formação de precipitado após acidificação, sugerindo reações bem-sucedidas entre o extrato e o hidróxido de amônio. No jar-test, o coagulante sintetizado demonstrou boa capacidade de coagulação, promovendo remoção significativa de cor e turbidez do efluente galvânico. Embora não tenha superado os resultados de coagulantes comerciais, o desempenho obtido foi considerado promissor e evidencia o potencial do tanino como alternativa viável e sustentável.

REFERÊNCIAS

ABREU, F.O.M.S.; LIMA JÚNIOR, R.N. Produtos Naturais Utilizados como Coagulantes e Floculantes para Tratamento de Águas: Uma Revisão sobre Benefícios e Potencialidades. **Revista Virtual de Química**, Fortaleza, v.10, n.3, p. 709-735, abr./jun. 2018. Disponível em: <http://static.sites.sjq.org.br/rvq.sjq.org.br/pdf/v10n3a20.pdf>. Acesso em: 21 de outubro de 2025.

ALMEIDA, A.N.; BRAGAGNOLO, C.; CHAGAS, A.L.S. **A Demanda Por Vinho no Brasil**: elasticidades no consumo das famílias e determinantes da importação. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. Piracicaba, SP, vol. 53, n. 3, p. 433-454, jul./set. 2015.

Alumínio na Água Potável. Abal. Disponível em: <https://abal.org.br>. Acesso em: 31 de agosto de 2024.

ALVES, B.S.G. **Análise das variáveis do processo de coagulação-flocação para clarificação de água superficial**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Rio de Janeiro, 2019.

ALVES, D.G.; HADDAE, I.R.; MONACO, P.A.V.L.; SCHNEIDER, E.G.; VIEIRA, G.H.S. Resíduos da vitivinicultura como coagulante natural no tratamento de efluentes domésticos e águas residuárias da suinocultura. **Boletim Técnico**, Alegre, n.14, p. 1, 2023.

ALVES, L.C.; SEO, E.S.M. **Caracterização do resíduo sólido proveniente do processo galvânico para valoração econômica ambiental**. Artigo Técnico, São Paulo, SP, v.19, n.4, p.423-434, out./dez. 2014.

AMORIM, M.C.C.; SANTOS, S.F. Sistemas wetlands aplicados a efluentes da vitivinicultura: um estudo prospectivo científico. **Revista Semiárido De Visu**, Petrolina, v.12, n.3, p.1541-1558, 2024. Disponível em: <https://semiaridodevisu.ifsertaope.edu.br/index.php/rsdv/article/view/766/621>. Acesso em: 22 de outubro de 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 11176: Sulfato de alumínio, sulfato de alumínio e ferro, sulfato de alumínio isento de ferro: Aplicação em tratamento de água e efluentes: Especificação técnica, amostragem e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15784: Produtos químicos utilizados no tratamento de água para consumo humano: Efeitos à saúde: Requisitos. Rio de Janeiro, 2023.

Avaliação do Controle e Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano no Brasil, nos Termos da Portaria Ms 518/2004. Gov.br. Disponível em: <https://www.gov.br>. Acesso em: 23 de outubro de 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada. **Boas práticas sanitárias para o sistema de abastecimento de água ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água em portos, aeroportos e passagens de fronteiras.** Brasília: Ministério da Saúde, 2022.

CASTILHO, R. **Biotecnologia:** o que é, os diferentes tipos e importância (com exemplos); Toda Matéria. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/biotecnologia/>. Acesso em: 3 de abril de 2025

CELLA, D., et al. A vitivinicultura brasileira e suas dificuldades com a concorrência dos vinhos estrangeiros. **Revista Brasileira Multidisciplinar.** Catanduva, SP, vol. 24, n. 1, p. 226-227, jan. 2021.

Coagulação e Floculação. Werjen. Disponível em: <https://werjen.com.br>. Acesso em: 31 de agosto de 2024.

DEEPAK. **Distillation and Reflux Condensers.** Lab-Training, 2016. Disponível em: <https://lab-training.com/distillation-and-reflux-condensers>. Acesso em: 22 de outubro de 2025.

Dobrinas, S.; Manea, N.; Popescu, V.; Sirbu, A.; Soceanu, A. **Economic aspects of waste recovery in the wine industry. A multidisciplinary approach.** National Library of Medicine. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33199012/>. Acesso em: 16 de outubro de 2025

Ferreira, V.L.D.; Liendo, M.A.; Molin, M.; Vicente, G.C. **AVALIAÇÃO DA AÇÃO DO COAGULANTE PRODUZIDO A PARTIR DE TANINOS EXTRAÍDOS DO BAGAÇO DA UVA.** Congresso Brasileiro de Química. Disponível em: <https://www.abq.org.br/cbq/2021/trabalhos/9/24012-24992.html>. Acesso em: 16 de outubro de 2025.

FLOCULANTES E COAGULANTES. ChemTreat. Disponível em:
<https://pt.chemtreat.com>. Acesso em: 31 de agosto de 2024.

GIROLETTI, C.L. EXTRAÇÃO DE TANINO DE ENGAÇO DE UVA PARA SÍNTESE DE COAGULANTE E APROVEITAMENTO DA BIOMASSA FINAL PARA OBTENÇÃO DE CARVÃO ATIVADO. 2021. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

GROTTO, L.G. et al. Reutilização de Sulfato de Alumínio recuperado a partir do lodo de ETE – Estação de Tratamento de Efluentes. Meio Ambiente (Brasil), v.3, n.3. 002-016 (2021). Acesso em: 05 de set. 2024.

GUARDA, E.A.; MARTINS, A.A.; OLIVEIRA, R.M.S. POTENCIAL DE USO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS COMO, COAGULANTES, FLOCULANTES E ADSORVENTES NO TRATAMENTO DE ÁGUA E EFLUENTES. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, São Paulo, v.10, n.12, p.168-183. 2014. Disponível em: <https://scispace.com/pdf/potencial-de-uso-de-compostos-organicos-como-coagulantes-4zgjap021w.pdf>. Acesso em: 21 de outubro de 2025.

GUIDOTTI, I.L.; VIDEIRA, N. **As cores da Biotecnologia;** Profissão Biotec. Disponível em: <https://profissaobiotec.com.br/cores-da-biotecnologia/>. Acesso em: 3 de abril de 2025

GUSMÃO, A.L.S. Uso de Taninos no Tratamento de Água para Abastecimento. 2014. Monografia (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

HENARES, J.F. CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE DE LATICÍNIO: análise e proposta de tratamento. 2015. Monografia (Graduação em Engenharia em Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

LEÃO, P.C.S. Uva de Mesa. Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/uva-de-mesa/pre-producao/caracteristicas-da-especie-e-relacoes-com-o-ambiente/cultivares/uvas-americanas/niagara-rosada>. Acesso em: 22 de outubro de 2025.

MACHADO, G.D. MODIFICAÇÃO QUÍMICA DE TANINOS DE Acacia mearnsii PARA OBTENÇÃO DE FLOCULANTE LIVRE DE FORMALDEÍDO. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

MACHADO, C.A.E.; MELLO, L.M.R. **Vitivinicultura brasileira: panorama 2021.** Embrapa, 2022. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1149674/1/Com-Tec-226.pdf>. Acesso em: 23 de outubro de 2025.

MORAES, B.S. **Utilização de lodos de estações de tratamento de água como fonte alternativa de energia.** 2018. Tese (Doutorado em engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2018.

MORSELLI, L.B.G.A. et al. **Lodo de estação de tratamento de água: possibilidade de aplicação no solo.** Scientia Plena, Rio Grande do Sul, v. 20, n. 5, p. 11, fev/mai. 2022.

MORUZZI, R.B., et al. **Flocação: considerações a partir da análise clássica e da avaliação direta da distribuição de tamanho de partículas.** Artigo Técnico, Rio Claro, SP, v. 21, n. 4, p. 817-824, out. /dez. 2016.

NOGUEIRA, I.S.; SILVA, E.Q.; SILVA, R.R. **Impactos ambientais de efluentes de laticínios em curso d'água na Bacia do Rio Pomba.** Artigo Técnico, Goiânia, GO, v.23, n.2, p.217-228, mar. /abr. 2018.

OLDONI, B. et al. **Uso de tanino como alternativa aos coagulantes químicos no tratamento de efluente de laticínio.** Revista Brasileira de Meio Ambiente, 2022. Disponível em: <https://www.revistabrasileirademedioambiente.com>. Acesso em: 24 de agosto de 2024.

OLIVEIRA, C. **Avaliação operacional da aplicação de tanino vegetal no tratamento de água do rio Caveiras.** 2019. 88 p. Dissertação (Mestrado em ciências ambientais). Universidade do Estado de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Lages, 2019.

ORTIGARA, A.R.C. **CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE DE UMA VINÍCOLA NA REGIÃO DO VALE DO RIO DO PEIXE/SC E AVALIAÇÃO DO SEU TRATAMENTO POR BIOFILTRO AERADO SUBMERSO.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

PONTE, H.A. **TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE GALVANOPLASTIA.** Universidade Federal do Paraná. Disponível em:

<http://www.gea.ufpr.br/arquivos/lea/material/Tratamento%20de%20Efluentes.pdf>.
Acesso em: 22 de outubro de 2025.

QUAN, Z.S., et al. Application of the Mannich reaction in the structural modification of natural products. **Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry**, Yanji, v.38, n.1, p.1, 2023. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10351470/pdf/IENZ_38_2235095.pdf. Acesso em: 21 de outubro de 2025.

SALTON, K.Z. EFICIÊNCIA DO COAGULANTE ORGÂNICO EXTRAÍDO DO ENGAÇO DA UVA NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE VINÍCOLA E ESTABILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS REMANESCENTES DA VINIFICAÇÃO ATRAVÉS DE COMPOSTAGEM. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2024.

SANTOS, W.N.A., et al. **Uso do sulfato de alumínio e do tanino vegetal no tratamento de água.** Sergipe: X-SIMPROD, 2018. Disponível em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/10418/2/UsoSulfatoAlum%C3%ADnio.pdf>. Acesso em: 22 de outubro de 2025.

SILVA, A.L.O., et al. **Possíveis efeitos do alumínio presentes na água tratada.** Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 6, n. 1, p. 1413-1420, jan. 2020.

SKORONSKI, E., et al. **Estudo de aplicação do tanino no tratamento de água para abastecimento captada no rio Tubarão, na cidade de Tubarão, SC.** Rev. Ambient. Água, vol. 9, n. 4, Taubaté, p. 680-687, out. /dez. 2014.

Tanino para Tratamento de Água. Aquarenne. Disponível em: <https://aquarenne.com.br>. Acesso em: 24 de agosto de 2024.

Tanino: como funciona no tratamento para águas e efluentes. Seta. Disponível em: <https://www.setaoificial.com>. Acesso em: 24 de agosto de 2024.

TAVARES, R.G. Atenuação do alumínio do resíduo de estações de tratamento de água por vermicompostagem e adsorção. Recife, 2016. 207p. Tese (Doutorado em engenharia civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco.

Tratamento da Água. Sanep. Disponível em: <https://portal.sanep.com.br>. Acesso em: 31 de agosto de 2024.

VAZ, L.G.L., et al. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE DIFERENTES AGENTES COAGULANTES NA REMOÇÃO DE COR E TURBIDEZ EM EFLUENTE DE GALVANOPLASTIA. **Eclética Química**, São Paulo, v.35, n.4, p.45-54, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eq/a/GPGnqcWnqbF9pYPqPn5jJgG/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 21 de outubro de 2025.