



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

FRANCISCO MEDEIROS DE ANDRADE NETO

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA
FÁBRICA DE TINTAS: UMA ABORDAGEM CONVENCIONAL E SUSTENTÁVEL**

MOSSORÓ

2025

FRANCISCO MEDEIROS DE ANDRADE NETO

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA
FÁBRICA DE TINTAS: UMA ABORDAGEM CONVENCIONAL E SUSTENTÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido-
UFERSA, campus Mossoró, com o objetivo de
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Química.

Orientadora: Prof^{fa}. Dr^a. Geraldine Angélica
Silva da Nóbrega

MOSSORÓ

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

A533d Andrade Neto, Francisco Medeiros.
Desenvolvimento de um sistema de tratamento de
água para uma fábrica de tintas: uma abordagem
convencional e sustentável / Francisco Medeiros
Andrade Neto. - 2025.
35 f. : il.

Orientadora: Geraldine Angélica Silva da
Nóbrega.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Química, 2025.

1. Tratamento de efluentes. 2. Indústria de
tintas. 3. Biopolímeros. 4. Sustentabilidade. I.
da Nóbrega, Geraldine Angélica Silva, orient. II.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

FRANCISCO MEDEIROS DE ANDRADE NETO

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA
FÁBRICA DE TINTAS: UMA ABORDAGEM CONVENCIONAL E SUSTENTÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido-
UFERSA, campus Mossoró, com o objetivo de
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Química.

Defendida em: 26 / 03 / 2025.

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
GERALDINE ANGELICA SILVA DA NOBREGA
Data: 26/03/2025 11:11:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Geraldine Angélica Silva da Nobrega, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente



Documento assinado digitalmente
FERNANDA LARISSA DO VALE BARBOSA
Data: 26/03/2025 13:54:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Fernanda Laríssa do Vale Barbosa, Engenheira Química.
Membro Examinador



Documento assinado digitalmente
THAIS DO CARMO OLIVEIRA SILVA
Data: 26/03/2025 18:29:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Thaís do Carmo Oliveira Silva, Engenheira Química.
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado forças, sabedoria e resiliência para enfrentar os desafios desta jornada, guiando-me em cada passo e permitindo que eu concluísse mais essa etapa da minha vida.

À minha família, em especial aos meus pais, Ana Lúcia da Costa e Cesar Augusto de Medeiros, pelo amor incondicional, pelo apoio constante e pelos valores que me transmitiram. Obrigado por acreditarem em mim, mesmo nos momentos mais difíceis, e por serem minha base em todas as circunstâncias.

À minha querida orientadora, Geraldine Angélica e à banca avaliadora, por compartilharem seu conhecimento, pelas valiosas orientações e por contribuírem significativamente para o meu crescimento acadêmico e profissional. Seu comprometimento e dedicação foram fundamentais para a realização deste trabalho.

À empresa Icor Tintas, por me proporcionar a oportunidade de aprender e desenvolver minhas habilidades em um ambiente profissional. Sou grato pela confiança, pelo acolhimento e por toda a experiência adquirida durante esse período de estágio.

Por fim, agradeço aos meus amigos, que estiveram ao meu lado, me incentivando e apoiando em todos os momentos. A companhia e as palavras de encorajamento tornaram essa caminhada mais leve e significativa.

O Senhor teu Deus te abençoará em todo o
trabalho das tuas mãos
Deuteronômio 15:10

RESUMO

A indústria de tintas gera efluentes com características complexas devido à presença de resíduos químicos, como pigmentos, resinas, espessantes, dispersantes, bactericidas, fungicidas e coalescentes. Esses componentes podem causar impactos ambientais significativos se descartados de forma inadequada. A fim de compor as atividades realizadas no estágio obrigatório, foi desenvolvido um sistema de tratamento de água residual para uma fábrica de tintas de pequeno porte, localizada na região do semiárido do estado do Rio Grande do Norte. A pesquisa comparou uma abordagem convencional, utilizando sulfato de alumínio como agente coagulante, e uma abordagem sustentável, empregando biopolímeros. No método convencional, o sulfato de alumínio foi utilizado para remover partículas em suspensão e matéria orgânica, seguido de processos de decantação e filtração. No método sustentável, os biopolímeros foram aplicados no processo de complexação para reduzir a carga química do efluente. Os sistemas de tratamento desenvolvidos foram avaliados por meio de parâmetros como turbidez, pH, condutividade elétrica, dureza e razão de adsorção de sódio (RAS), com o objetivo de viabilizar a reutilização da água para irrigação. Os resultados indicaram que o método convencional apresentou maior eficiência na remoção de contaminantes, reduzindo significativamente a dureza e os níveis de cátions e ânions. Embora o tratamento sustentável tenha promovido uma melhoria na qualidade da água, sua eficiência foi inferior à do método convencional. O sistema de tratamento baseado no método convencional foi o mais adequado para o efluente da indústria de tintas avaliada, garantindo que a água tratada atendesse aos padrões estabelecidos pelo CONAMA para reutilização na irrigação.

Palavras-chave: Tratamento de efluentes, Indústria de tintas, Biopolímeros, Sustentabilidade.

ABSTRACT

The paint industry generates effluents with complex characteristics due to the presence of chemical residues such as pigments, resins, thickeners, dispersants, bactericides, fungicides, and coalescents. These components can cause significant environmental impacts if improperly disposed of. This study developed a wastewater treatment system for a small paint factory located in the semi-arid region of the state of Rio Grande do Norte, Brazil. The research compared a conventional approach, using aluminum sulfate as a coagulant agent, and a sustainable approach, employing biopolymers. In the conventional method, aluminum sulfate was used to remove suspended particles and organic matter, followed by sedimentation and filtration processes. In the sustainable method, biopolymers were applied in the complexation process to reduce the effluent's chemical load. The developed treatment systems were evaluated based on parameters such as turbidity, pH, electrical conductivity, hardness, and sodium adsorption ratio (SAR), aiming to enable the reuse of the treated water for irrigation. The results indicated that the conventional method demonstrated greater efficiency in contaminant removal, significantly reducing hardness and cation and anion levels. Although the sustainable treatment improved water quality, its efficiency was lower than that of the conventional method. The treatment system based on the conventional method proved to be the most suitable for the evaluated paint industry effluent, ensuring that the treated water met the standards established by CONAMA for reuse in irrigation.

Keywords: Effluent treatment, Paint industry, Biopolymers, Sustainability

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Estrutura molecular da goma guar	21
Figura 2	–	Processo produtivo das tintas e complementos	23
Figura 3	–	Processo de tratamento convencional	27
Figura 4	–	a) amostras antes do processo; b) amostras após o processo.....	28
Figura 5	–	a) resultado da amostra 1 após 30 dias; b) resultado da amostra 2 após 1h ..	39
Figura 6	–	Representação do sistema de tratamento do efluente residual.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Resultados da análise antes do tratamento	25
Tabela 2	–	Resultados da análise depois do tratamento com sulfato de alumínio	27
Tabela 3	–	Resultados da análise depois do tratamento com biopolímeros	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	Poluição dos Recursos Hídricos	14
2.2	A Indústria de Tinta e Seus Impactos Ambientais.....	14
2.2.1	Impactos Ambientais no Solo	16
2.3	Legislação Ambiental	16
2.4	Método de Tratamento de Efluentes da Indústria de Tintas	17
2.4.1	Uso de biopolímeros no tratamento de efluentes industriais	19
2.5	Utilização da Goma Guar no Tratamento de Efluentes	20
3	METODOLOGIA	23
3.1	Caracterização Do Efluente Antes Do Processo	23
3.2	Caracterização da Unidade Industrial e Parâmetros Operacionais.....	23
3.3	Método Convencional de Tratamento.....	24
3.4	Método Sustentável de Tratamento.....	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4.1	Caracterização Do Efluente Antes Do Processo	25
4.2	Método Convencional de Tratamento.....	26
4.3	Método Sustentável de Tratamento.....	28
4.4	Sistema de Tratamento.....	30
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
	REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

A contaminação dos recursos hídricos por efluentes industriais é um problema ambiental significativo que afeta a qualidade da água e a biodiversidade aquática. A indústria de tintas, em particular, gera grande quantidade de resíduos líquidos contendo pigmentos, solventes, resinas e outros compostos químicos que podem ser altamente poluentes se descartados inadequadamente (CUSTODIO, 2014). O lançamento desses efluentes no meio ambiente sem tratamento adequado pode causar impactos severos, incluindo a alteração da qualidade físico-química dos corpos d'água, a toxicidade para organismos aquáticos e a contaminação do solo (SANTOS; ALMEIDA, 2023).

A indústria de tintas tem um papel fundamental na economia global, sendo responsável pelo fornecimento de produtos essenciais para diversos setores, como construção civil, automobilístico e moveleiro. Entretanto, os processos produtivos envolvem o uso intensivo de matérias-primas químicas e geram grandes volumes de efluentes industriais contendo metais pesados, compostos orgânicos voláteis e solventes (ABRAFATI, 2022). O descarte inadequado desses efluentes pode resultar na bioacumulação de substâncias tóxicas em organismos vivos, afetando cadeias alimentares inteiras (ABRAFATI, 2022).

No Brasil, a legislação ambiental é rigorosa quanto ao tratamento de efluentes industriais. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece padrões para o lançamento de efluentes em corpos hídricos e determina a necessidade de adoção de tecnologias para minimizar os impactos ambientais (CONAMA, 2021). Empresas que não cumprem essas regulamentações podem sofrer penalidades, incluindo multas e embargos, o que reforça a necessidade de implantação de sistemas de tratamento eficazes (IBAMA, 2022).

Os métodos convencionais de tratamento de efluentes utilizados na indústria de tintas incluem processos físico-químicos, como coagulação-floculação, precipitação química e filtração, além de tratamentos biológicos, como lodos ativados e lagoas de estabilização (SOUZA, 2023). No entanto, esses métodos nem sempre são totalmente eficazes na remoção de compostos orgânicos e metais pesados, o que impulsiona a busca por soluções mais sustentáveis (SOUZA, 2023).

A busca por alternativas sustentáveis tem levado à utilização de biopolímeros no tratamento de efluentes. Os biopolímeros, como a goma guar, têm demonstrado eficácia na remoção de poluentes por meio da formação de hidrogéis que atuam na adsorção e retenção de contaminantes (SILVA, 2020). Essa abordagem permite um tratamento mais eficiente e ecológico, reduzindo a dependência de produtos químicos sintéticos (SILVA, 2020).

Dentre os fenômenos envolvidos no uso de biopolímeros, destaca-se o efeito *salting out*, que influencia a eficiência dos hidrogéis na remoção de poluentes. Esse efeito ocorre devido à interação entre os biopolímeros e sais dissolvidos no meio, alterando a capacidade de adsorção e retenção de substâncias tóxicas (BANEGAS; SANTOS, 2021). Estudos demonstram que a otimização desse efeito pode aumentar significativamente a remoção de metais pesados e outros contaminantes (BANEGAS; SANTOS, 2021).

A aplicação de polímeros naturais como a goma guar no tratamento de efluentes representa uma estratégia inovadora e viável para a indústria de tintas. Esse método, além de reduzir a toxicidade dos efluentes, também contribui para a redução da pegada ambiental da indústria, promovendo práticas mais sustentáveis (SILVA, 2016). Estudos apontam que o uso desses biopolímeros é uma alternativa promissora frente aos métodos tradicionais, garantindo maior eficiência na remoção de poluentes sem comprometer a qualidade da água tratada (SILVA, 2016).

Diante desse contexto, este relatório de estágio tem como objetivo desenvolver um sistema de tratamento de efluentes gerados no processo produtivo da indústria de tintas, utilizando abordagens convencionais e sustentáveis visando a reutilização dessa água na irrigação. A proposta visa não apenas atender às exigências legais e reduzir os impactos ambientais, mas também avaliar a viabilidade técnica do uso de biopolímeros na remoção de contaminantes, promovendo soluções mais eficazes e ecológicas para o setor industrial.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Poluição dos Recursos Hídricos

A poluição das águas é uma questão ambiental crítica que afeta ecossistemas aquáticos e a saúde humana. Esse problema resulta da introdução de substâncias nocivas nos corpos hídricos, provenientes de atividades industriais, agrícolas e domésticas. Entre os principais poluentes estão metais pesados, nutrientes em excesso e microrganismos patogênicos, que comprometem a qualidade da água e a biodiversidade aquática (TUNDISI; TUNDISI, 2007).

A degradação dos recursos hídricos impacta diretamente a saúde pública. A contaminação da água pode levar à disseminação de doenças de veiculação hídrica, como cólera e hepatite A. Além disso, a presença de poluentes químicos está associada a efeitos adversos à saúde, incluindo doenças crônicas e distúrbios endócrinos (PIGNATTI, 2003).

A poluição hídrica também afeta a disponibilidade de água potável e a integridade dos ecossistemas. A eutrofização, causada pelo excesso de nutrientes, leva à proliferação de algas nocivas, resultando na perda de biodiversidade e na alteração das funções ecológicas dos corpos d'água (PHILIPPI; PELICIONI, 2005).

2.2 A Indústria de Tinta e Seus Impactos Ambientais

As tintas são compostos químicos complexos desenvolvidos para revestir superfícies, proporcionando proteção e acabamento estético. Sua formulação básica inclui quatro componentes principais: pigmentos, que conferem cor e opacidade; resinas ou aglutinantes, responsáveis pela formação do filme sobre a superfície aplicada; solventes ou veículos, utilizados para ajustar a viscosidade da tinta e facilitar a aplicação; e aditivos, que melhoram propriedades específicas, como resistência a intempéries, secagem e aderência. Dependendo da formulação, esses componentes podem variar significativamente, resultando em diferentes tipos de tintas com aplicações industriais e domésticas (ABRAFATI, 2023).

A classificação das tintas pode ser feita com base em diversos critérios, como o tipo de resina empregada, a base de diluição e o método de secagem. Quanto à resina, destacam-se as tintas acrílicas, alquídicas, epóxi, poliuretânicas e vinílicas, cada uma com propriedades distintas. As tintas acrílicas e alquídicas são amplamente utilizadas na construção civil devido à sua boa aderência e resistência ao intemperismo, enquanto as epóxi e poliuretânicas são mais comuns na indústria por sua elevada resistência química e mecânica. Já em relação à base de diluição, as tintas podem ser à base de água ou à base de solventes orgânicos. As tintas à base de água, como as acrílicas e de Poliacetato de Vinila (PVA), são consideradas mais sustentáveis

por apresentarem menor emissão de compostos orgânicos voláteis (COVs) e menor impacto ambiental (SOUZA et al., 2021).

Outro critério de classificação importante está relacionado ao processo de secagem. Algumas tintas secam por evaporação do solvente, enquanto outras necessitam de reações químicas para a formação do filme seco. As tintas alquídicas, por exemplo, passam por um processo de oxidação na presença de oxigênio do ar, enquanto as tintas epóxi e poliuretânicas endurecem por meio de reações químicas entre seus componentes. Esse aspecto é crucial para definir a aplicação ideal de cada tipo de tinta e suas exigências em termos de segurança no manuseio e descarte de resíduos industriais (GONZÁLEZ et al., 2020).

Os avanços na tecnologia de tintas têm levado ao desenvolvimento de formulações mais sustentáveis, reduzindo o impacto ambiental e melhorando a eficiência de aplicação. Tintas ecológicas, por exemplo, utilizam resinas de base vegetal e pigmentos naturais, minimizando a toxicidade e a emissão de COVs. Além disso, a substituição de solventes orgânicos por veículos aquosos e a inclusão de aditivos biodegradáveis têm sido estratégias amplamente adotadas na indústria para atender às regulamentações ambientais mais rígidas e às exigências dos consumidores por produtos mais sustentáveis (ABRAFATI, 2022).

A indústria de tintas desempenha um papel significativo na economia global, fornecendo produtos essenciais para diversos setores, desde a construção civil até a indústria automobilística. Entretanto, essa indústria é conhecida por gerar resíduos que podem causar impactos ambientais consideráveis, especialmente na contaminação de corpos hídricos. Durante o processo de fabricação, são utilizados diversos compostos químicos, incluindo solventes orgânicos voláteis, pigmentos metálicos e aditivos, que podem ser liberados no meio ambiente se não houver um gerenciamento adequado dos resíduos (VIEIRA, 2017).

Um dos principais problemas ambientais associados à indústria de tintas é a presença de metais pesados, como chumbo, cádmio e mercúrio, em suas formulações. Esses metais são altamente tóxicos e persistentes no ambiente, podendo bioacumular-se em organismos aquáticos e, consequentemente, entrar na cadeia alimentar, afetando a saúde de animais e seres humanos. Estudos têm demonstrado que a exposição a metais pesados está associada a diversos problemas de saúde, incluindo danos neurológicos e renais (ANVISA, 2024).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA, ano), além dos metais pesados, os compostos orgânicos voláteis presentes nas tintas representam outra preocupação ambiental. Esses compostos podem evaporar durante a aplicação e secagem das tintas, contribuindo para a formação de ozônio troposférico e smog fotoquímico, que são prejudiciais à saúde humana e

ao meio ambiente. A exposição a COVs está relacionada a problemas respiratórios, irritações nos olhos e, em casos extremos, efeitos carcinogênicos.

2.2.1 Impactos Ambientais no Solo

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, ano), o descarte inadequado de efluentes provenientes da indústria de tintas pode causar sérios impactos ambientais, especialmente no que se refere à contaminação do solo. Esses efluentes frequentemente contêm solventes, metais pesados e compostos orgânicos voláteis (COVs), que, ao serem lançados diretamente no solo, podem comprometer sua qualidade e fertilidade. A presença desses contaminantes pode afetar a microbiota do solo, essencial para a decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, resultando em solos menos produtivos e com menor capacidade de suporte à vegetação.

Além disso, a Tera Ambiental informar que a infiltração desses poluentes no solo pode levar à contaminação de lençóis freáticos, afetando a qualidade da água subterrânea utilizada para consumo humano e atividades agrícolas. Metais pesados presentes nos efluentes, como chumbo e cádmio, são particularmente preocupantes devido à sua toxicidade e persistência no ambiente. A bioacumulação desses metais na cadeia alimentar pode causar efeitos adversos à saúde humana, incluindo problemas neurológicos e renais.

A gestão inadequada dos resíduos gerados pela indústria de tintas pode levar à contaminação do solo e das águas subterrâneas. O descarte irresponsável de efluentes líquidos contendo substâncias tóxicas pode resultar na poluição de corpos d'água, afetando a fauna e a flora aquáticas. Além disso, a contaminação das águas pode comprometer a qualidade da água potável e representar riscos à saúde pública (MOREIRA, 2018).

Diante desses desafios, é essencial que a indústria de tintas adote práticas de produção mais limpas e invista em tecnologias de tratamento de efluentes eficazes. A implementação de sistemas de gestão ambiental e a conformidade com as regulamentações ambientais são passos fundamentais para minimizar os impactos ambientais associados à produção de tintas. A transição para o uso de matérias-primas menos tóxicas e o desenvolvimento de produtos com menor conteúdo de COVs também são estratégias importantes para reduzir a pegada ambiental dessa indústria.

2.3 Legislação Ambiental

A indústria de tintas no Brasil está sujeita a uma série de regulamentações ambientais destinadas a minimizar os impactos negativos ao meio ambiente e à saúde pública. Essas

regulamentações são estabelecidas por órgãos governamentais, como o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Essas instituições elaboram normas e diretrizes que visam controlar a produção, o uso de substâncias perigosas e o descarte de resíduos provenientes da fabricação de tintas.

Uma das principais regulamentações é a Resolução CONAMA nº 20/1986, que estabelece os padrões de qualidade das águas e diretrizes para o lançamento de efluentes industriais. Essa resolução define os limites máximos permitidos de substâncias químicas nos corpos hídricos, visando à proteção dos ecossistemas aquáticos e da saúde humana. As indústrias de tintas devem adequar seus processos para garantir que os efluentes gerados atendam a esses padrões, evitando a contaminação das águas.

Além disso, a ANVISA publicou a Resolução RDC nº 847/2024, que estabelece critérios para tintas e vernizes com ação saneante, ou seja, aqueles com propriedades antimicrobianas ou repelentes. Essa norma exige que tais produtos sejam registrados na agência, comprovando sua eficácia e segurança antes de serem comercializados. Essa medida visa proteger os consumidores e garantir que os produtos no mercado atendam a padrões de qualidade adequados.

O controle do uso de metais pesados nas tintas também é uma preocupação regulatória. O Ministério do Meio Ambiente (MMA) tem trabalhado na limitação do uso de chumbo em tintas, devido aos riscos que esse metal representa para a saúde e o meio ambiente. A presença de chumbo em materiais de uso infantil, como brinquedos e materiais escolares, é especialmente preocupante, pois crianças são mais vulneráveis aos efeitos tóxicos desse metal.

A conformidade com essas regulamentações é essencial para que as indústrias de tintas operem de maneira sustentável e responsável. Além de evitar penalidades legais, o cumprimento das normas ambientais contribui para a preservação dos recursos naturais e para a saúde da população. As empresas que adotam práticas alinhadas às regulamentações tendem a melhorar sua imagem no mercado e a conquistar a confiança dos consumidores, que estão cada vez mais atentos às questões ambientais.

2.4 Método de Tratamento de Efluentes da Indústria de Tintas

O tratamento de efluentes industriais é uma etapa essencial para minimizar o impacto ambiental das atividades produtivas. Na indústria de tintas, os efluentes podem conter resíduos de pigmentos, solventes orgânicos, metais pesados e surfactantes, tornando o tratamento um desafio técnico. De acordo com a Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM), o

tratamento de efluentes industriais pode ser realizado por métodos físicos, químicos e biológicos, dependendo da composição do resíduo gerado. Esses processos visam remover contaminantes antes da disposição final do efluente, garantindo o atendimento às normas ambientais estabelecidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (ABQUIM, 2023).

Os métodos físicos de tratamento de efluentes incluem processos como sedimentação, flotação e filtração. A sedimentação é amplamente utilizada para separar partículas sólidas suspensas na água, enquanto a flotação com ar dissolvido é aplicada para a remoção de partículas oleosas. Já a filtração é utilizada para remover partículas menores e substâncias coloidais. A eficiência desses processos pode ser aumentada com o uso de agentes coagulantes, como sulfato de alumínio e cloreto férrico, que ajudam na remoção de sólidos suspensos (KÜLZER; RODRIGUES, 2016).

O tratamento químico dos efluentes da indústria de tintas envolve a utilização de processos como coagulação-floculação, precipitação química e oxidação avançada. A coagulação-floculação é um dos métodos mais empregados, pois permite a remoção de partículas coloidais e matéria orgânica dissolvida. A precipitação química, por sua vez, é utilizada para a remoção de metais pesados presentes nos efluentes, utilizando reagentes como hidróxido de sódio ou sulfetos. Métodos de oxidação avançada, como a utilização de ozônio ou peróxido de hidrogênio, são eficazes na degradação de compostos orgânicos complexos e tóxicos (MOREIRA, 2018).

Os processos biológicos de tratamento são amplamente empregados para a remoção de matéria orgânica biodegradável nos efluentes industriais. O tratamento biológico aeróbio, utilizando lodos ativados, é um dos mais comuns, pois permite a degradação eficiente de compostos orgânicos por meio da ação de microrganismos (VIEIRA, 2017). Já os processos anaeróbios, como os reatores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), são utilizados para tratar efluentes com alta carga orgânica e apresentam a vantagem de gerar biogás como subproduto. Estudos recentes demonstram que a combinação de processos aeróbios e anaeróbios pode melhorar a eficiência do tratamento e reduzir custos operacionais (NASCIMENTO, 2013).

Por fim, a adoção de tecnologias híbridas, que combinam diferentes processos físicos, químicos e biológicos, tem sido uma tendência na indústria de tintas para melhorar a eficiência do tratamento de efluentes. O uso de membranas de ultrafiltração e nanofiltração tem se mostrado uma solução eficaz para a remoção de micropoluentes e a reutilização da água tratada no processo produtivo. Essas tecnologias permitem reduzir significativamente o consumo de

água potável nas indústrias e diminuir a geração de resíduos líquidos, alinhando-se aos princípios da economia circular e da sustentabilidade ambiental (PREUSS et al., 2018).

2.4.1 Uso de biopolímeros no tratamento de efluentes industriais

A busca por alternativas sustentáveis para o tratamento de efluentes industriais tem levado ao desenvolvimento de tecnologias baseadas em biopolímeros. Os biopolímeros são macromoléculas de origem natural, biodegradáveis e de baixo impacto ambiental, capazes de substituir produtos químicos tradicionais nos processos de tratamento de água. Entre os biopolímeros mais estudados para essa finalidade estão a quitosana, a goma xantana, a carboximetilcelulose (CMC) e os biopolímeros derivados de algas e amidos modificados. Esses materiais possuem propriedades coagulantes, floculantes e adsorventes, tornando-os eficazes na remoção de metais pesados, corantes e compostos orgânicos recalcitrantes presentes nos efluentes industriais (GOMES et al., 2006).

A quitosana, derivada da quitina encontrada em exoesqueletos de crustáceos, tem sido amplamente utilizada na remoção de poluentes devido à sua capacidade de formar complexos com metais pesados e partículas suspensas. Estudos demonstram que a quitosana é altamente eficiente na remoção de corantes e compostos orgânicos, podendo substituir coagulantes tradicionais como sulfato de alumínio e cloreto férrico. Além disso, sua biodegradabilidade reduz o impacto ambiental do lodo gerado nos processos de tratamento, tornando-a uma opção sustentável para a indústria de tintas (BARDI, 2014).

Outro biopolímero promissor é a goma xantana, um polissacarídeo produzido por bactérias do gênero *Xanthomonas*. A goma xantana tem sido utilizada como floculante natural devido à sua capacidade de formar redes tridimensionais na água, facilitando a agregação de partículas contaminantes. Pesquisas recentes indicam que a combinação de goma xantana com nanopartículas de ferro melhora significativamente a remoção de metais pesados e substâncias tóxicas presentes nos efluentes industriais. Além disso, sua estabilidade química permite sua aplicação em diferentes faixas de pH, aumentando sua viabilidade como alternativa ecológica no tratamento de águas industriais (MORENO, 2017).

Os biopolímeros derivados de algas marinhas, como alginatos e carragenanas, também têm demonstrado grande potencial no tratamento de efluentes da indústria de tintas. Os alginatos possuem propriedades gelificantes e alta afinidade com íons metálicos, permitindo a remoção eficiente de metais pesados, como chumbo, cádmio e níquel. Já as carragenanas, extraídas de algas vermelhas, são utilizadas para estabilizar dispersões coloidais e facilitar a remoção de pigmentos e resinas presentes nos efluentes industriais. Esses biopolímeros

apresentam a vantagem adicional de serem obtidos de fontes renováveis, tornando-os sustentáveis do ponto de vista ambiental e econômico (MATOS, 2017).

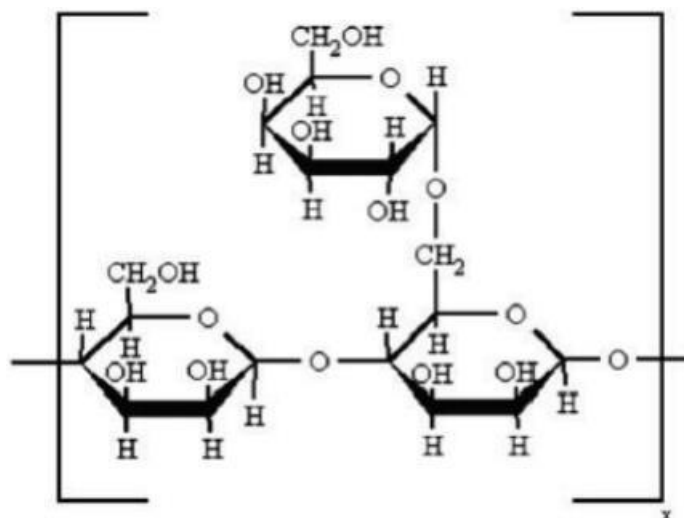
Os amidos modificados são uma alternativa sustentável para o tratamento de águas contaminadas. O amido, um polissacarídeo abundante em fontes vegetais como milho, mandioca e batata, pode ser modificado quimicamente para aumentar sua capacidade de adsorção de contaminantes. Estudos demonstram que os amidos catiônicos possuem excelente eficiência na remoção de corantes e compostos orgânicos presentes nos efluentes industriais. Além disso, a utilização de amidos modificados reduz a necessidade de coagulantes sintéticos, minimizando a geração de resíduos tóxicos durante o tratamento da água (GONÇALVES et al., 2009).

Por fim, o desenvolvimento de biopolímeros híbridos, combinando materiais naturais e sintéticos, tem sido explorado como uma solução inovadora para o tratamento de águas industriais. Pesquisas recentes indicam que a incorporação de nanopartículas metálicas a biopolímeros naturais pode potencializar sua capacidade de adsorção e remoção de poluentes persistentes, aumentando a eficiência dos processos de purificação da água. Essa abordagem tem atraído a atenção da indústria, pois permite a substituição gradual de produtos químicos convencionais por alternativas mais sustentáveis, alinhadas às regulamentações ambientais e aos princípios da economia circular (ZHANG et al., 2018).

2.5 Utilização da Goma Guar no Tratamento de Efluentes

A goma guar é um polissacarídeo natural extraído das sementes da planta *Cyamopsis tetragonoloba*, uma leguminosa originária da Índia e do Paquistão, atualmente também cultivada em outras regiões, incluindo as Américas (RITA, 2003). Sua estrutura molecular é composta principalmente por unidades de galactose e manose, organizadas em uma cadeia linear de manose com ramificações de galactose como ilustra a Figura 1. Essa configuração confere à goma guar propriedades espessantes e formadoras de gel quando em contato com a água.

Figura 1. Estrutura molecular da goma guar.



Fonte: Silva, 2015.

No contexto do tratamento de efluentes, a goma guar tem sido explorada como um coagulante natural devido à sua capacidade de formar hidrogéis. Esses hidrogéis são redes tridimensionais de polímeros que podem absorver grandes quantidades de água, tornando-se úteis na remoção de contaminantes presentes em efluentes industriais. A formação desses hidrogéis ocorre através de processos de reticulação polimérica, nos quais as cadeias poliméricas da goma guar são interligadas por agentes reticulantes, resultando em uma estrutura de gel estável (SILVA, 2020).

A reticulação polimérica da goma guar pode ser realizada utilizando diversos agentes químicos, que promovem a ligação entre as cadeias poliméricas, formando uma rede tridimensional. Essa rede é responsável pelas propriedades de gelificação e pela capacidade de absorção de água dos hidrogéis formados (SILVA, 2020).

Os hidrogéis de goma guar apresentam características que os tornam adequados para aplicações ambientais, especialmente no tratamento de efluentes. Sua capacidade de absorver água e aprisionar contaminantes permite a remoção eficiente de poluentes presentes em águas residuais. Além disso, por serem biodegradáveis e provenientes de fontes renováveis, os hidrogéis de goma guar representam uma alternativa sustentável aos coagulantes sintéticos tradicionalmente utilizados (SOUZA, 2023).

Um fenômeno relevante associado aos hidrogéis de goma guar é o efeito "salting out". Este efeito refere-se à diminuição da solubilidade de um soluto em uma solução aquosa devido à presença de altas concentrações de sais. No caso dos hidrogéis, o efeito "salting out" pode influenciar sua capacidade de absorção de água e, consequentemente, sua eficiência na remoção

de contaminantes. Compreender esse fenômeno é crucial para otimizar as condições de aplicação dos hidrogéis de goma guar no tratamento de efluentes (SILVA, 2016).

Diversos estudos científicos têm demonstrado a eficácia da goma guar e de seus hidrogéis no tratamento de efluentes. Por exemplo, pesquisas indicam que a goma guar pode atuar como coagulante natural, auxiliando na remoção de corantes e outros poluentes de efluentes industriais (SOUZA, 2023). Além disso, a modificação química da goma guar, como a introdução de grupos hidroxipropil, tem sido estudada para aprimorar suas propriedades e ampliar suas aplicações no tratamento de águas residuais (BENEGAS, 2021).

A utilização de coagulantes naturais, como a goma guar, apresenta vantagens significativas em termos ambientais e econômicos. Por serem biodegradáveis e menos tóxicos, esses coagulantes reduzem a geração de lodos químicos e minimizam os impactos ambientais associados ao tratamento de efluentes. Além disso, a possibilidade de utilizar subprodutos agrícolas ou materiais de baixo custo na produção desses coagulantes torna o processo mais sustentável e economicamente viável (BENEGAS, 2021).

Em suma, a goma guar destaca-se como uma alternativa promissora no tratamento de efluentes, devido às suas propriedades naturais de gelificação e à capacidade de formar hidrogéis eficientes na remoção de contaminantes. A compreensão detalhada de sua estrutura molecular, dos processos de reticulação e dos fenômenos associados, como o efeito "salting out", é essencial para otimizar sua aplicação em processos industriais e promover práticas mais sustentáveis no gerenciamento de águas residuais.

3 METODOLOGIA

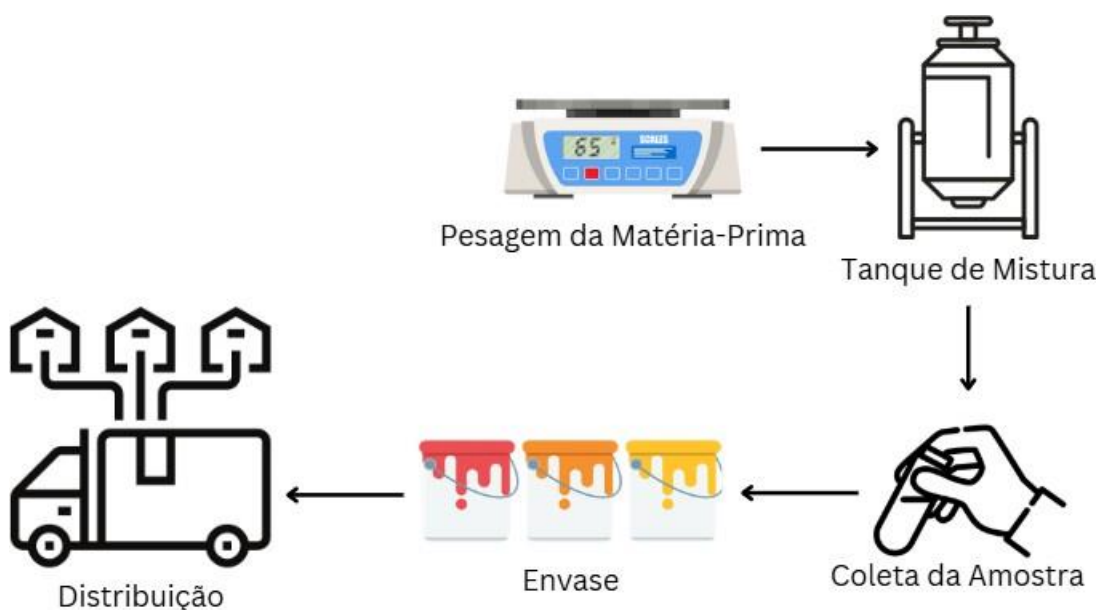
3.1 Caracterização Do Efluente Antes Do Processo

Inicialmente é necessário entender como será realizado o tratamento do efluente estudado, e para isso foi realizado a caracterização, que avaliou parâmetros como: pH, dureza, condutividade elétrica e alguns metais.

3.2 Caracterização da Unidade Industrial e Parâmetros Operacionais

O processo produtivo das tintas e complementos na Icor tintas é relativamente simples, ele se inicia com a pesagem da matéria-prima, em seguida são adicionadas a um tanque de agitação, onde possui tempos e velocidade de agitação diferentes para cada produto que se deseje obter. Finalizada a agitação, é retirada uma amostra e levada para análises no laboratório, e quando liberada, segue para o envase e distribuição. A Figura 2 ilustra o fluxograma do processo.

Figura 2. Processo produtivo das tintas e complementos.



Fonte: Elaboração própria.

Após o processo de produção das tintas e complementos, elas são envazadas e os tanques precisam ser limpos para as próximas produções. A empresa opera nos turnos da manhã e da tarde, considerando uma máxima produção diária. Em cada turno são produzidas quatro batidas, duas em cada tanque. Cada batida gasta um volume aproximado de 120 L para a limpeza de um tanque, então é gasto aproximadamente 960 L de água por dia apenas para limpeza dos tanques.

A água utilizada na limpeza é descartada no solo, visto que a empresa ainda não possui um sistema de tratamento. O descarte incorreto desse efluente tem prejudicado a vegetação próxima e causando danos ao solo.

3.3 Método Convencional de Tratamento

O processo se inicia com a mistura do efluente a ser tratado, e em seguida é adicionado o coagulante. Esse estudo avalia o Sulfato de Alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), o qual na literatura se mostra eficaz (VIEIRA, 2014). Foi preparada uma solução de sulfato de alumínio a 10%, dissolvendo 10 g do composto em 100 mL de água destilada em um balão volumétrico. Em seguida foi adicionado de 4 ml da solução na amostra. Após a adição do sulfato de alumínio a amostra foi agitada por 5 min a uma velocidade constante.

Após a etapa de agitação, o efluente tratado foi mantido em repouso por um período de 30 minutos para permitir a separação das fases. A decantação ocorreu devido à diferença de densidade entre os sólidos suspensos e a fase líquida, promovendo a sedimentação das partículas mais densas no fundo do recipiente. Esse processo permitiu a formação de um lodo sedimentar, composto por pigmentos, cargas minerais e outros resíduos provenientes da formulação das tintas. Ao final do período estabelecido, o sobrenadante foi separado para as etapas subsequentes do tratamento, enquanto o lodo sedimentado foi coletado para descarte adequado.

Após a etapa de decantação, o efluente clarificado foi submetido a um processo de filtração para a remoção de partículas residuais em suspensão. Para essa etapa, utilizou-se papel filtro de porosidade adequada, permitindo a retenção de sólidos finos remanescentes, enquanto o líquido tratado passava para a próxima fase do processo.

Como o fluido resultante do processo das tintas possui um alto pH é necessário aplicar alguma ação corretiva para reduzir o pH. Com o auxílio de um pHmetro foi medido o pH e utilizado o ácido clorídrico para reduzir o valor.

Por fim, após a filtração a água passou pelas mesmas análises que foram feitas no início do processo, em que comprova a eficiência do tratamento.

3.4 Método Sustentável de Tratamento

Uma alternativa para o tratamento da água, é o uso dos biopolímeros para remoção dos contaminantes. Foi utilizada uma metodologia adaptada com base no estudo de Paixão (2015), em que foi escolhido o biopolímero goma guar, com concentração de 4,8 g/L. Como agente reticulante, utilizou-se o ácido bórico com concentração de 2,86 g/L.

Inicialmente, foi solubilizado o polímero na amostra, mantido por agitação durante 5 min em um dispersor de solos. Em seguida, ácido bórico foi adicionado e agitado por mais 2 min. Finalizada a agitação foi utilizado hidróxido de sódio 8 N até um $\text{pH} \geq 12$. Como a amostra poderia não possuir uma quantidade de sal suficiente para que ocorresse o efeito *saltin out*, foi realizado o mesmo processo para duas amostras, entretanto em uma delas foi acrescentado 60 g/L de cloreto de sódio. Após realizado o processo, foi corrigido o pH da água utilizando ácido clorídrico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização do Efluente Antes do Processo

Inicialmente, são apresentados os resultados das análises realizadas do efluente do processo de fabricação de tintas. As amostras foram caracterizadas com o objetivo de identificar os principais compostos presentes no efluente, avaliando parâmetros físico-químicos relevantes para o desenvolvimento do sistema de tratamento, visando a utilização dessa água na irrigação. A Tabela 1 apresenta os valores obtidos para cada parâmetro analisado, incluindo a presença de pigmentos, resinas, espessantes, dispersantes, bactericidas, fungicidas, coalescentes, carbonatos, amônia, parafinas e umectantes. Esses resultados servirão como base para a discussão das estratégias de remoção e tratamento adequadas ao contexto industrial da empresa estudada.

Tabela 1. Resultados da análise antes do tratamento.

<u>Parâmetro</u>	<u>Valor</u>	<u>Unidade</u>
pH	8,53	
CE	4,12	dS/m
K ⁺	0,25	mmol/L
Na ⁺	17,00	mmol/L
Ca ²⁺	21,80	mmol/L
Mg ²⁺	15,10	mmol/L
CL	53,00	mmol/L
HCO ₃ ⁻	3,90	mmol/L
RAS	4,00	
Dureza	1845,00	mg/L
Cátions	54,10	mmol/L
<u>Ânions</u>	<u>56,90</u>	<u>mmol/L</u>

Fonte: Elaboração própria.

Ao analisar os dados da água antes do tratamento, percebe-se que o pH está elevado, o que pode ser prejudicial para aplicações industriais e agrícolas, porém, dependendo do uso esse

pH pode ser aceitável. A condutividade elétrica (CE) indica a quantidade de sais dissolvidos na água, valores acima de 0,7 dS/m já indica uma salinidade elevada, ou seja, a amostra possui uma elevada salinidade o que é prejudicial para aplicações industriais e/ou agrícolas. Em relação aos íons catiônicos, o K^+ está em baixas concentrações então não apresenta riscos, o Na^+ está relativamente alto o que pode impactar a qualidade para irrigação e processos industriais. Os valores de Cálcio e Magnésio indicam alta dureza, valores acima de 180 mg/L indicam água muito dura. A amostra possui dureza extremamente elevada o que pode causar problemas de incrustações tubulares e ressecamento do solo pois reduz a infiltração da água, prejudicando a vegetação. Em relação aos íons aniônicos, o bicarbonato (HCO_3^-) está em conformidade com valor normal, porém o Cl^- está alto o que pode gerar corrosão de peças metálicas e prejudicar a irrigação. A Razão de Adsorção de Sódio (RAS) indica o risco de sódio na água para uso agrícola, valores entre 0 e 10 indicam baixo e médio risco, então de acordo com o valor obtidos a água poderia ser utilizada, porém é necessário ficar em observação pois pode ocorrer acúmulo de sódio no solo. O equilíbrio entre cátions e ânions é um bom indicativo da precisão da análise. Como os valores são próximos, significa que os testes foram bem realizados. De um modo geral, essa água precisa de tratamento para poder ser utilizada na irrigação visto que a salinidade e o teor de cloro estão muito altos e pode prejudicar o solo e o cultivo de várias culturas.

4.2 Método Convencional

Neste tópico, são apresentados os resultados obtidos após a aplicação do método convencional de tratamento da água residual da fabricação de tintas. O objetivo desta etapa foi avaliar a eficiência do processo na remoção dos contaminantes identificados anteriormente, comparando os parâmetros analisados antes e depois do tratamento.

A Figura 2, ilustra visualmente as mudanças ocorridas na amostra, durante de 30 min, evidenciando a remoção de sólidos suspensos, alteração na coloração e reduções na turbidez e matéria orgânica. Além disso, a Tabela 2 apresenta os valores dos parâmetros físico-químicos após o tratamento, permitindo uma análise quantitativa da eficiência do processo em relação aos limites estabelecidos pela legislação ambiental.

Figura 2. Processo de tratamento convencional.



Fonte: Elaboração própria.

Tabela 2. Resultados da análise após o tratamento com sulfato de alumínio.

Parâmetro	Valor	Unidade
pH	7,12	
CE	1,18	dS/m
K ⁺	0,20	mmol/L
Na ⁺	6,62	mmol/L
Ca ²⁺	4,75	mmol/L
Mg ²⁺	2,14	mmol/L
CL	4,40	mmol/L
HCO ₃ ⁻	1,40	mmol/L
RAS	3,60	
Dureza	344,50	mg/L
Cátions	13,90	mmol/L
Ânions	5,80	mmol/L

Fonte: Elaboração própria.

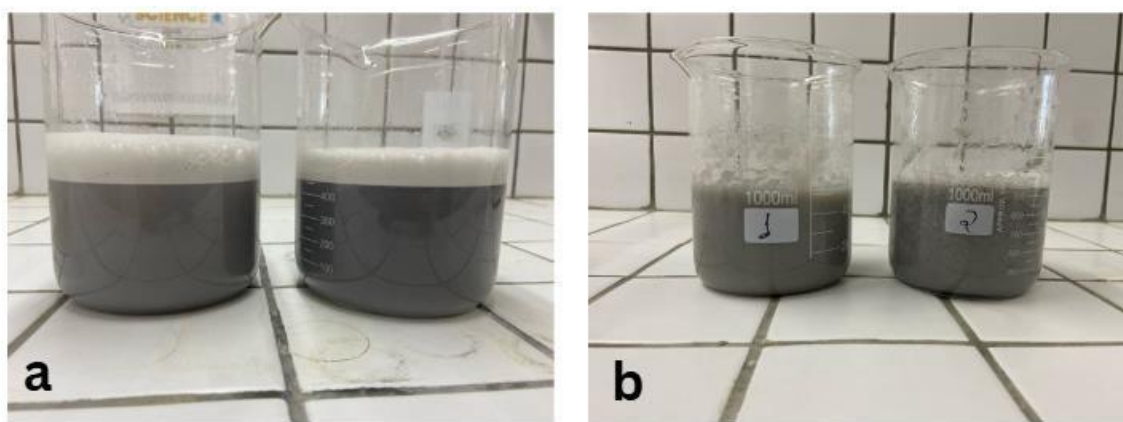
Após o tratamento é visível a eficiência do processo, e isso é confirmado através das análises, onde tem-se um pH ideal, a redução da condutividade elétrica mostra que a amostra tem menos sais dissolvidos o que reduz os riscos ao solo e a vegetação, porém ainda é um pouco elevada. Também ocorreu uma redução do sódio e cloretos o que diminui o risco de degradação do solo por excesso de sódio, o que melhora a absorção de água pelas plantas. Ocorreu também uma redução significativa quanto a dureza da água, o que reduz os riscos de entupimento do sistema. A diminuição do cálcio e magnésio reduziu muito a dureza, o que é ótimo para o sistema, porém também reduz a disponibilidade de nutrientes no solo, mas pode ser compensado com a adição de gesso agrícola ou calcário. Embora menor que a amostra anterior,

a relação de adsorção de sódio (RAS) ainda pode afetar solos com baixa drenagem, tornando-os compactados com o tempo.

4.3 Método Sustentável

As Figuras 3 e 4 apresentam os resultados visuais obtidos após a aplicação do tratamento com biopolímeros na água residual proveniente da produção de tintas. Esse método foi desenvolvido com o propósito de reduzir a carga poluente do efluente, empregando técnicas de menor impacto ambiental e aproveitando materiais acessíveis e biodegradáveis.

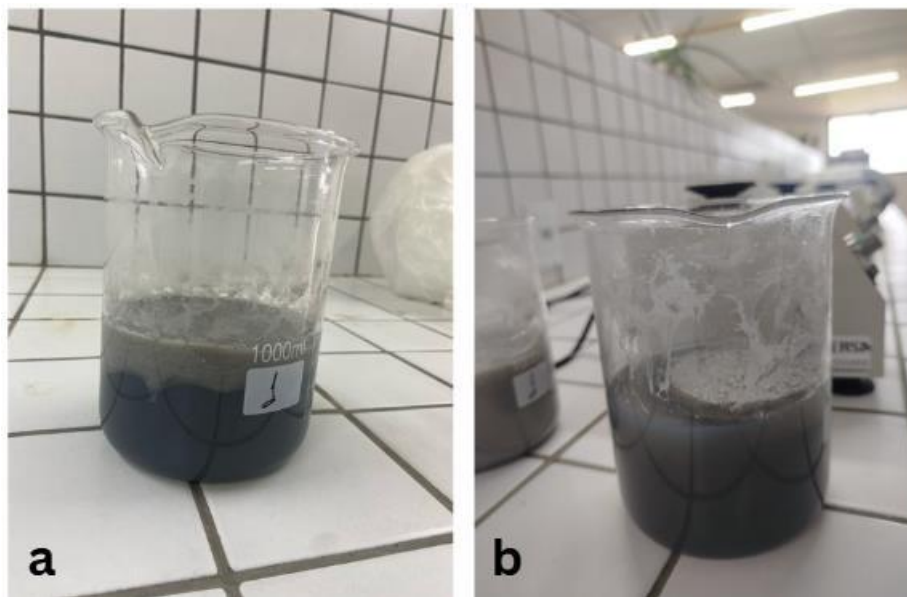
Figura 3. a) amostras antes do processo; b) amostras após o processo.



Fonte: Elaboração própria.

As imagens evidenciam as alterações na aparência da amostra como a eliminação de partículas suspensas, indicando a eficiência do processo na remoção de impurezas. Em relação a primeira amostra, os sais presentes na água não foram suficientes para fazer acontecer o efeito *salting out* com eficiência e rapidez, a amostra levou cerca de 30 dias para formar o gel polimérico. A reticulação na segunda amostra ocorreu rápida e eficiente, porém os biopolímeros não foram capazes de remover o corante da água, como pode ser observado na Figura 4.

Figura 4. a) resultado da amostra 1 após 30 dias; b) resultado da amostra 2 após 1h.



Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 3 informa os resultados obtidos após o tratamento com os biopolímeros para a segunda amostra.

Tabela 3. Resultados da análise após o tratamento com biopolímeros.

<u>Parâmetro</u>	<u>Valor</u>	<u>Unidade</u>
pH	6,89	
CE	2,03	dS/m
K ⁺	0,16	mmol/L
Na ⁺	5,32	mmol/L
Ca ²⁺	4,05	mmol/L
Mg ²⁺	3,53	mmol/L
CL	4,10	mmol/L
HCO ₃ ⁻	1,30	mmol/L
RAS	3,0	
Dureza	278,30	mg/L
Cátions	11,90	mmol/L
<u>Ânions</u>	<u>3,71</u>	<u>mmol/L</u>

Fonte: Elaboração própria.

O tratamento com biopolímeros reduziu significativamente a concentração de sódio, cálcio, magnésio e cloretos, além de diminuir a condutividade elétrica (CE), o que indica uma menor salinidade da água. A redução do pH para 6,89 também é positiva, pois um pH muito alto pode causar problemas na absorção de nutrientes pelas plantas.

A redução da dureza de 1845 mg/L para 278,3 mg/L é uma das maiores melhorias, tornando a água muito mais adequada para irrigação, pois dureza elevada pode afetar o crescimento das plantas e obstruir sistemas de irrigação.

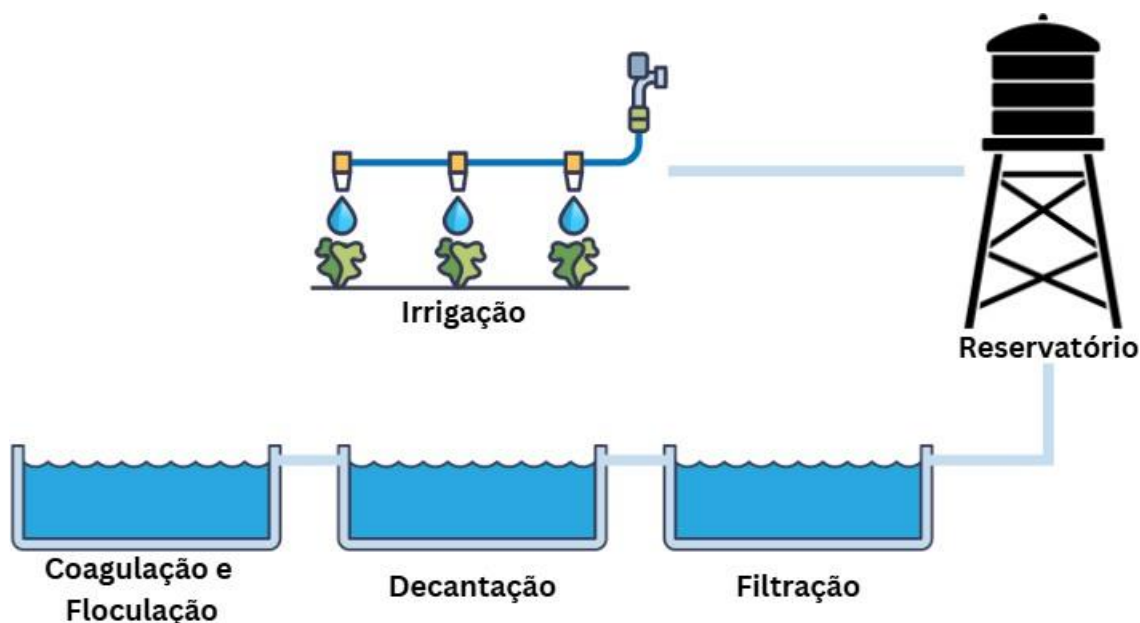
A diminuição da RAS de 4,0 para 3,0 indica um menor risco de degradação da estrutura do solo, o que evita a compactação e melhora a permeabilidade da água.

Porém os biopolímeros não foram capazes de eliminar os corantes presente na água. A presença de corante pode causar interferências na absorção de luz das plantas, alterar a microbiota do solo, podem ser tóxicos para alguns tipos de culturas e podem afetar a absorção de água pelas plantas.

4.4 Sistema de Tratamento

Com base nos resultados físico-químicos dos métodos de tratamento foi definido um modelo de sistema para o tratamento do efluente residual utilizando o método convencional, por se mostrar eficiente, menos complexo e com um menor custo quando comparada ao método sustentável. Como ilustrado na Figura 5, o sistema inicia com um tanque de coagulação e floculação, onde é adicionado o sulfato de alumínio. Nesta etapa o fluido fica em agitação por 30 min. É ideal que o tanque comporte no mínimo 500 L visto que é despejado aproximadamente 480 L de água após a produção de cada turno. Em seguida, tem-se um tanque de decantação, e este deve ter capacidade mínima de 1000 L para receber a água proveniente do tanque anterior. Nesta etapa o efluente fica em repouso em um intervalo de 1 a 3 horas. No tanque de filtração o tempo e o volume pode ser variável, entre 500 e 1000 L, dependendo da taxa de filtração. Após a filtração a água segue para um reservatório, também com volume variável e depende da frequência de irrigação das plantas, entretanto é necessário que o reservatório possua no mínimo 1000 L considerando uma irrigação diária. A partir dos resultados obtidos para o método convencional é recomendável utilizar essa água para a irrigação de algumas espécies como: frutas, sendo elas: romã, tamarindo, figo, goiaba, manga, acerola e coqueiro; hortaliças: beterraba, tomate, espinafre, repolho, couve e aspargos; grãos e cereais: cevada, centeio, sorgo e arroz tolerante ao sal; outras: capim-elefante, capim-búfalo e gramíneas forrageiras. Essas culturas apresentam boa resistência aos sais presentes na água (FAO, 1988).

Figura 5. Representação do sistema de tratamento do efluente residual.



Fonte: Elaboração própria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tratamento de efluentes utilizando o método convencional apresentou um desempenho superior na remoção de contaminantes, resultando em uma água com menor condutividade elétrica, menor concentração de íons dissolvidos e melhor adequação para reutilização. A redução na dureza e na RAS demonstrou maior eficiência na remoção de cátions como cálcio, magnésio e sódio, minimizando o risco de impactos ambientais e de degradação do solo quando aplicado na irrigação. Esses resultados indicam que, apesar das limitações do processo, o tratamento convencional continua sendo uma alternativa viável e confiável para o tratamento de efluentes industriais.

O método baseado em biopolímeros apresentou uma remoção considerável de contaminantes, embora com menor eficiência quando comparado ao convencional. Apesar disso, sua aplicação mostrou-se promissora devido ao seu caráter sustentável, à redução do uso de produtos químicos agressivos e ao menor impacto ambiental. A eficiência da remoção de íons como sódio e cloreto pode ser aprimorada com otimizações no processo, tornando os biopolímeros uma alternativa interessante para futuras aplicações, especialmente em cenários onde a sustentabilidade seja um fator importante.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a investigação de combinações entre o método convencional e o sustentável, buscando um equilíbrio entre eficiência e impacto ambiental.

Além disso, testes adicionais podem ser conduzidos para avaliar o uso de diferentes biopolímeros ou ajustes nos parâmetros operacionais para melhorar a remoção de contaminantes. A aplicação prática da água tratada em diferentes culturas agrícolas também pode ser estudada, analisando os impactos a longo prazo no solo e no crescimento das plantas.

REFERÊNCIAS

ABRAFATI. Panorama do Setor de Tintas no Brasil. São Paulo, 2019. Disponível em: <https://www.abrafati.com.br>. Acesso em: 06 mar. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/ana>. Acesso em: 06 mar. 2025.

BANEGAS, C. C.; SANTOS, A. F. Aplicação de Biopolímeros na Remoção de Poluentes de Efluentes Industriais. *Revista Evidência*, v. 15, n. 2, p. 55-68, 2021. Disponível em: <http://periodicos.unoesc.edu.br/evidencia/article/view/24704/15641>

BARDI, M. A. G. Avaliação do impacto ambiental gerado por tintas gráficas curadas. São Paulo: *Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)*, 2014. Disponível em: https://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Marcelo%20Augusto%20Goncalves%20Bar di_D.pdf. Acesso em: 6 mar. 2025.

CARVALHO, P. L.; MENDES, R. M.; SOUZA, T. F. Contaminação do Solo por Resíduos Industriais: Impactos e Soluções. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v. 8, n. 2, p. 45-60, 2020. Disponível em: <https://rbma.org.br>. Acesso em: 06 mar. 2025.

CETESB. *Tintas*. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores/wp-content/uploads/sites/20/2013/11/tintas.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2025.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento. Brasília, 2005. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/qualidade-ambiental/recursos-hidricos>. Acesso em: 06 mar. 2025.

COSTA, R. M.; ALMEIDA, J. F. Uso de Biopolímeros no Tratamento de Efluentes Industriais. *Engenharia Ambiental*, v. 15, n. 3, p. 203-218, 2022. Disponível em: <https://www.engenhariaambiental.org>. Acesso em: 06 mar. 2025.

CUSTÓDIO, B. P. Otimização do sistema de efluentes: estudo de caso: Indústria de Tintas Base Água. Unesc.net, 2014.

ETESB. *Tintas*. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores/wp-content/uploads/sites/20/2013/11/tintas.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2025.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *Salt-affected soils and their management*. Rome: FAO, 1988. (FAO Soils Bulletin, 39). Disponível em: <http://www.fao.org/3/x5871e/x5871e00.htm>. Acesso em: 28 mar. 2025.

GOMES, C. Z.; STEGANHA, R.; SANTOS, J. E. G.; TRINDADE, G. Consciência ambiental: resíduos gerados pelas tintas e solventes em flexografia. *XIII SIMPEP*, Bauru, SP, Brasil, 2006. Disponível em: https://simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/1086.pdf. Acesso em: 6 mar. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). Relatório de Gestão Ambiental da Indústria Brasileira. Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br>. Acesso em: 06 mar. 2025.

KÜLZER, B. N.; RODRIGUES, C. O. Geração e processos físico-químicos de tratamento de efluentes líquidos contendo pigmentos. *Holos Environment*, v. 16, n. 1, p. 58–69, 2016. Disponível em: <https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/download/10166/7889/63072>.

MATOS, M. Uma visão química das tintas imobiliárias e sua questão ambiental. *Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ)*, 2017. Disponível em: <https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/coqui/TCC/Monografia-TCC-MarianaMatos.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2025

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Decreto limitará uso de chumbo em tintas. Disponível em: gov.br. Acesso em: 5 mar. 2025.

MOREIRA, M. C. Avaliação do uso de coagulantes orgânicos e inorgânicos no tratamento de efluentes de indústria de tintas. *Universidade Tecnológica Federal do Paraná*, 2018. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/29506/1/coagulantesorganicosinorganicosintintas.pdf>.

MORENO, R. Estudo sobre a incorporação de produtos nocivos ao ambiente no desenvolvimento de tintas. *Instituto Politécnico do Porto*, 2017. Disponível em: https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/16280/1/DM_RenanMoreno_2017_MEM.pdf. Acesso em: 6 mar. 2025.

NASCIMENTO, F. C. Tratamento de efluentes da produção de tintas industriais, automotivas e de repintura por irradiação com feixe de elétrons. *Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares*, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ipen.br/handle/123456789/10166>.

PHILIPPI JR., A.; PELICIONI, M. C. F. Meio ambiente, saúde e desenvolvimento sustentável. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 10, n. 4, p. 829-839, 2005. Disponível em: [SciELO Brasil - Meio ambiente, saúde e desenvolvimento sustentável Meio ambiente, saúde e desenvolvimento sustentável](https://doi.org/10.1590/S1518-87442005000400010). Acesso em: 5 mar. 2025.

PIGNATTI, M. G. Saúde e ambiente: as doenças emergentes no Brasil. *Ambiente & Sociedade*, v. 6, n. 1, p. 75-88, 2003. Disponível em: [v7n1a07.pmd](https://doi.org/10.1590/1518-87442003000100007). Acesso em: 5 mar. 2025.

PREUSS, V. D.; MARQUES, C. R. M.; ZILLI, D.; MELO, A. R. Processo de tratamento de efluentes da fabricação de tinta flexográfica base água. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 10, n. 1, p. 1–9, 2018. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/download/22823/209209218255/209209259373>.

RITA. Ostomias. *Estima – Brazilian Journal of Enterostomal Therapy*, v. 1, n. 2, 2003.

ROSA, M. A.; PEREIRA, L. C.; SOUZA, V. G. Métodos de Tratamento de Efluentes na Indústria de Tintas: Uma Revisão. *Revista de Engenharia Química*, v. 25, n. 1, p. 102-117, 2021. Disponível em: <https://www.revistaeq.org>. Acesso em: 06 mar. 2025.

SANTOS, F. R.; ALMEIDA, P. H. Aplicação da Goma Guar no Tratamento de Efluentes Industriais. *Química Verde*, v. 12, n. 4, p. 300-315, 2023. Disponível em: <https://www.quimicaverde.org>. Acesso em: 06 mar. 2025.

SILVA, B. E. M. Preparação e Caracterização de Hidrogéis de Goma Guar para Aplicações Ambientais. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 2020.

Disponível em:

<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/39273/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Barbara%20Emanuelle%20Maria%20da%20Silva.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2025.

SILVA, J. R.; OLIVEIRA, M. F.; SOUZA, R. T. Impactos Ambientais da Indústria de Tintas: Análise e Perspectivas. *Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 9, n. 1, p. 55-72, 2022.

Disponível em: <https://www.gestaosustentavel.org>. Acesso em: 06 mar. 2025.

SILVA, R. A. Influência de microgéis de hidroxipropilgoma nas propriedades reológicas e de filtração de fluidos de perfuração aquosos. Tese (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, p. 66. 2015.

SILVA, R. A. Síntese e Caracterização de Hidroxipropil Goma Guar para Aplicações em Fluidos de Perfuração. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2016. Disponível em:

https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/22256/1/RafaelAraujoDaSilva_DISSERT.pdf.

Acesso em: 6 mar. 2025.

SOUZA, C. A. Processos Físico-Químicos no Tratamento de Efluentes: Uma Abordagem sobre Coagulantes Naturais. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, 2023. Disponível em:

<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/39933/1/ProcessosF%C3%ADsicoQu%C3%AADmicos.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2025.

Tera Ambiental. *Efluentes industriais: entenda o impacto do descarte sem o tratamento correto*. Disponível em: <https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/efluentes-industriais-o-impacto-do-descarte-sem-tratamento-correto>. Acesso em: 5 mar. 2025.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. *Estudos Avançados*, v. 21, n. 59, p. 7-16, 2007. Disponível em: [Tundisi.indd](#). Acesso em: 5 mar. 2025.

VIEIRA, R. M. Otimização do sistema de tratamento de efluentes de uma indústria de tintas base água. *Universidade do Extremo Sul Catarinense*, 2014. Disponível em:

<https://repositorio.unesc.net/bitstream/1/6772/1/Renata%20Milioli%20Vieira.pdf>.

VIEIRA, R. M. Proposta de otimização do tratamento de efluente de indústria de tintas com o objetivo de reúso no processo produtivo. **Unesc.net**, 2017.