

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

SUELLEN TICIANE FERREIRA

**ESTUDO COMPARATIVO DE COAGULANTES SULFATO DE ALUMÍNIO E
TANINO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE GRÁFICO**

CURITIBA

2023

SUELLEN TICIANE FERREIRA

**ESTUDO COMPARATIVO DE COAGULANTES SULFATO DE ALUMÍNIO E
TANINO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE GRÁFICO**

**COMPARATIVE STUDY OF ALUMINUM SULFATE AND TANNIN COAGULANTS
IN THE TREATMENT OF GRAPHIC EFFLUENT**

Dissertação apresentada como requisito para
obtenção de título de Mestre em Ciência e Tecnologia
Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do
Paraná (UTFPR).

Orientador (a): Prof (a). Dr (a). Claudia Regina Xavier

CURITIBA

2023



4.0 Internacional

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao autor. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



SUELLEN TICIANE FERREIRA

ESTUDO COMPARATIVO DE COAGULANTES SULFATO DE ALUMÍNIO E TANINO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE GRÁFICO.

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência E Tecnologia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Tecnologias E Processos Ambientais.

Data de aprovação: 17 de Fevereiro de 2023

Dra. Claudia Regina Xavier, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Karina Querne De Carvalho Passig, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Kely Viviane De Souza, Doutorado - Universidade Estadual do Centro Oeste (Unicentro)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 28/02/2023.

Dedico este trabalho à minha família, amigos e
pessoas que torceram para meu crescimento,
tanto pessoal, acadêmico e profissional.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo privilégio da vida e a oportunidade de aprender e realizar coisas que não passaram nem mesmo nos meus maiores e melhores sonhos.

Aos meus pais, Luiz e Ivonete pela confiança e suporte em mais esse projeto acadêmico. A todos meus familiares, pela paciência e compreensão.

Agradeço a minha orientadora Prof (a) Dra. Cláudia Regina Xavier, pela sabedoria que me guiou nesta trajetória e paciência no desenvolvimento desta pesquisa, sua motivação fortaleceu em todo esse processo.

Meus sinceros agradecimentos ao prof (o) Roberto Molina de Souza por todo o apoio e ajuda na parte estatística, seu conhecimento fez toda diferença para construção desse trabalho.

As minhas colegas do laboratório LATAR, Ana Paula Pazda e Bruna Durat, pelos ensinamentos, paciência e longas horas que juntas passamos na vivência no laboratório. Estendo também os agradecimentos ao grupo GTEF por toda colaboração.

A Luana e Cintia do LAMEAA, pela cooperação e suporte com equipamentos e análises.

Gostaria de engrandecer, a Rhaissa Dayane Carneiro com meu sincero agradecimento que mesmo sob minha negação, insistiu fielmente para que pudesse encarar e desenvolver o mestrado. Meu obrigado mais sincero pela sua parceria e companhia sempre, Deus sempre coloca pessoas para somarem em nossas vidas e você foi uma delas.

A empresa TANAC pela disponibilidade e colaboração do coagulante para realização dos testes. Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

E não menos importante, a empresa que disponibilizou e concedeu meios para que essa pesquisa se realizasse, tanto ao custeio quanto material de pesquisa e suporte técnico.

Que os nossos esforços desafiem as impossibilidades. Lembrai-vos que as grandes proezas da história foram conquistadas daquilo que parecia impossível.
(CHARLES CHAPLIN).

RESUMO

FERREIRA, S.T. **Estudo comparativo de coagulantes sulfato de alumínio e tanino no tratamento de efluente gráfico**. 2023. 90 f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2023.

Os efluentes oriundos do processo de flexografia são compostos por corantes, solventes e aditivos, presentes nas tintas de impressão, esses efluentes se não tratados podem gerar impacto ambiental no corpo receptor dessas descargas. Sendo assim, este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho do tratamento físico-químico com dois coagulantes (sulfato de alumínio e tanino) em escala de laboratório comparativamente com tratamento em escala industrial, na remoção de DQO, COT, área espectral (AE) e turbidez para geração de efluente tratado com fins de reuso. As determinações dos ensaios realizados em *Jar Test*, foram realizadas pelo planejamento composto experimental tipo estrela 2^3 variando pH, concentração de coagulante (CCo) e tempo de sedimentação (TS) e analisados pelo *software R*. Sendo as condições de melhor desempenho com sulfato de alumínio com pH 9, CCo 1750 mg.L^{-1} e TS de 35 min, enquanto para o tanino foi pH 9, CCo 400 mg.L^{-1} e TS 45 min. Nelas atingiu-se remoções de DQO, COT, AE e turbidez de 21%, 20%, 34% e 100% com sulfato de alumínio e 37%, 18%, 92%, 91% com tanino respectivamente. A variabilidade das amostras avaliadas entretanto, prejudicou a obtenção de um modelo predito e uma possível validação do mesmo. Os tratamentos propostos, no entanto, não superaram o desempenho industrial atual, sendo recomendado a instalação de processo preliminar de equalização a fim de melhorar o desempenho. Os resultados, no entanto, são promissores para a possibilidade de reuso parcial do efluente tratado para pré-lavagem dos cilindros de flexografia, onde 10% de reuso impactaria em aproximadamente R\$ 5000/ ano.

Palavras-chave: pigmento; tintas; cores.

ABSTRACT

FERREIRA, S.T. **Comparative study of aluminum sulfate and tannin coagulants in the treatment of graphic effluent.** 2023. 90 p. Dissertation (Master's in Environmental Science and Technology - Federal University of Technology - Parana, Curitiba, 2023).

The effluents from the flexography process are composed of dyes, solvents and additives, present in the printing inks. They should be treated to avoid environmental impacts on receiving bodies. Therefore, this study aimed to evaluate the performance of the physical-chemical treatment with two coagulants (aluminum sulfate and tannin) on a laboratory scale compared to treatment on an industrial scale, in the removal of COD, TOC, EA and turbidity for the generation of treated effluent for reuse purposes. The experimental compound planning carried out in Jar Test, were performed by the star 23 type experimental compound planning varying pH, concentration of chemicals (CCo) and settling time (ST) and analyzed by R software. The best conditions for aluminum sulfate were pH 9, CCo 1750 mg.L⁻¹ and ST of 35 min, while for tannin it was pH 9, CCo 400 mg.L⁻¹ and ST of 45 min. Removals of COD, TOC, EA and turbidity of 21%, 20%, 34% and 100% with aluminum sulfate. Besides, the best performance of treatment using tannin was 37%, 18%, 92%, 91% removals of COD, TOC, EA and turbidity respectively. The variability of the evaluated samples however, hindered obtaining a predicted model and its possible validation. The proposed treatments, however, did not overcome the current industrial performance, being recommended the installation of a preliminary equalization process in order to improve performance. The results, however, are promising for the possibility of partial reuse of the treated effluent for pre-washing flexography cylinders, where 10% reuse would impact approximately R\$ 5000/year.

Keywords: pigment; inks; colors.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistemas de impressões realizados pelas indústrias gráficas	18
Figura 2 - Representação do Processo de flexografia	19
Figura 3 - Classificação de pigmentos	22
Figura 4 - Diagrama do processo de coagulação e floculação	29
Figura 5 - Sulfato de alumínio	32
Figura 6 - Árvore Acácia Negra e tanino em pó.....	34
Figura 7 - Fluxograma das atividades da pesquisa.....	39
Figura 8 - Desenho Fatorial Experimental.....	43
Figura 9 - Representação das amostras industriais não tratadas	47
Figura 10 - Ensaio de verificação para o sulfato de alumínio	50
Figura 11 - Ensaio de verificação para o tanino	52
Figura 12 - Gráficos de superfície de resposta do sulfato de alumínio.....	55
Figura 13 - Gráficos de superfície de resposta do tanino.....	57
Figura 14 - Comparativo das médias dos tratamentos	59
Figura 15 - Amostras de efluente e seus tratamentos	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização de efluente flexográfico na literatura.....	25
Tabela 2 - Processos de tratamento e suas eficiências para efluente flexográfico e de tintas de impressão	26
Tabela 3 - Tratamento Físico-químico e suas eficiências em diferentes efluentes com corantes	30
Tabela 4 - Especificações do sulfato de alumínio	33
Tabela 5 - Especificações do tanino.....	35
Tabela 6 - Condições e padrões para reuso de efluentes.....	37
Tabela 7 - Métodos de análises físico-químico.....	40
Tabela 8 - Planejamento experimental do sulfato de alumínio e tanino.....	41
Tabela 9 - Matriz de planejamento composto central do sulfato de alumínio....	42
Tabela 10 - Matriz de planejamento composto central do tanino	43
Tabela 11 - Caracterização das amostras de efluente industrial não tratado	46
Tabela 12 - Eficiências de remoções do tratamento com sulfato de alumínio ..	49
Tabela 13 - Eficiências de remoções do tratamento com tanino	51
Tabela 14 - Coeficientes de variação dos experimentos	53
Tabela 15 - Tabela de dados estatísticos do sulfato de alumínio	54
Tabela 16 - Tabela de dados estatísticos do tanino	56
Tabela 17 - Eficiência do tratamento na indústria	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de resinas utilizadas na formulação de tintas.....	21
Quadro 2 - Legislação de reuso no Brasil.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIGRAF	Associação Brasileira da Indústrias Gráficas
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a.C	Antes de Cristo
AE	Área Espectral
CCo	Concentração de coagulante
COT	Carbono Orgânico Total
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EB	do inglês <i>Eletro Beam</i>
LAMAQ	Laboratório Multiusuário de Análises Químicas
LAMEAA	Laboratório Multiusuário de Equipamentos e Análises Ambientais
LATAR	Laboratório de Análises de Tratamento de Águas Residuárias
UNT	do inglês <i>Nephelometric Turbidity Units</i>
P.E	Ponto de Ebulição
pH	Potencial Hidrogeniônico
SINGREH	Sistema Nacional de Recursos Hídrico
TS	Tempo de Sedimentação
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UV	Ultravioleta
UV-Vis	Ultravioleta Visível

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivos gerais.....	16
2.1.1	Objetivos específicos.....	16
3	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	17
3.1	A indústria gráfica brasileira	17
3.2	Flexografia	19
3.2.1	Tintas.....	20
<u>3.2.1.1</u>	<u>Resina</u>	<u>20</u>
<u>3.2.1.2</u>	<u>Pigmento</u>	<u>22</u>
<u>3.2.1.3</u>	<u>Corantes.....</u>	<u>23</u>
3.2.2	Verniz	23
3.2.3	Solvente	23
3.2.4	Aditivo.....	24
3.3	Geração e tratamento de efluente de flexografia.....	24
3.4	Tratamento de efluente de flexografia por processo físico-químico 28	
3.4.1	Coagulantes	31
<u>3.4.1.1</u>	<u>Sulfato de alumínio.....</u>	<u>32</u>
<u>3.4.1.2</u>	<u>Tanino</u>	<u>34</u>
3.5	Reuso de água.....	35
4	METODOLOGIA	39
4.1	Fluxograma das atividades da pesquisa.....	39
4.2	Coleta, conservação e caracterização do efluente.....	39
4.3	Planejamento experimental	41
4.4	Tratamento por coagulação – floculação – sedimentação	44
4.5	Análise estatística dos dados	44
4.6	Reuso	45
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
5.1	Caracterização físico-química do efluente industrial não tratado ...	46
5.2	Tratamento físico-químico com Sulfato de alumínio	48
5.3	Tratamento físico-químico com Tanino.....	51
5.4	Coeficiente de variação dos experimentos	53

5.5	Análise estatística para ensaios de verificação do método	54
5.6	Tratamento da indústria <i>versus</i> tratamentos propostos	58
5.7	Proposta de reuso	60
6	CONCLUSÃO	62
	REFERÊNCIAS.....	63
	APÊNDICE A... ..	69
	APÊNDICE B.....	74
	APÊNDICE C.....	79
	APÊNDICE D.....	84
	APÊNDICE E.....	89

1 INTRODUÇÃO

A indústria gráfica compõe-se de vários tipos de materiais, com múltiplas finalidades e abrange desde microempresas até empresas complexas dotadas de grandes estruturas e processos produtivos tipicamente industriais (SILVA *et al.*, 2021). Na flexografia são feitas impressões de diversos tipos de materiais flexíveis, como plástico, película, filme em acetato, papel *kraft* e outros materiais tipicamente usados em embalagens flexíveis (ESKO, 2022).

As tintas de impressão são amplamente utilizadas em vários materiais e geralmente consistem em uma matriz multicomponente complexa que contém principalmente corantes, aglutinantes, transportadores e aditivos (AQUINO *et al.*, 2014). Dessa forma, os efluentes associados à sua fabricação e aplicação apresentam carga orgânica e coloração intensa, causando problemas ambientais quando descartados sem tratamento prévio (RAMOS *et al.*, 2019).

As águas residuais da indústria gráfica geralmente são tratadas por processo físico-químico (TUNG *et al.*, 2013). O tratamento físico-químico tem por objetivo a clarificação dos efluentes por meio da desestabilização dos coloides por coagulação-floculação seguida do processo de sedimentação ou flotação para separação de fases (SILVA *et al.*, 2012).

Para auxiliar neste processo, em geral são utilizados coagulantes inorgânicos a base de ferro ou alumínio, porém estudos relatam geração de elevado volume de lodo contendo o cátion Al^{+3} dificultando sua disposição final, além de efeitos nocivos à saúde (MONACO *et al.*, 2010; YIN, 2010) associado a doenças degenerativas, principalmente ao *Alzheimer* (GERHARDT, 2018).

A substituição dos sais inorgânicos por coagulantes naturais e de origem vegetal como o tanino, vem se tornando uma alternativa de grande potencial no tratamento de águas residuárias, decorrente de vantagens como a abundância devido à sua origem renovável, elevada biodegradabilidade, menor toxicidade em comparação com os coagulantes convencionais e menor geração de lodo (MARTINS *et al.*, 2014), além de não acrescentar íons de metais no efluente tratado e não alterar o pH do meio (THAKUR; CHOUBEY, 2014).

Sendo assim, além de cumprir com os critérios de lançamento das águas residuárias tratadas e a melhoria do desempenho ambiental, algumas indústrias vem

adotando o reuso, para contribuir com a sustentabilidade no uso dos recursos hídricos, promovendo aumento da oferta de água para outros usos e redução do aporte de cargas poluidoras (ANA, 2021).

Assim, a hipótese deste trabalho é de que efluentes de flexografia podem ser tratados com coagulantes orgânicos com rendimento equivalente ao processo industrial e pode ser usado como água de reuso no processo de lavagem dos cilindros de impressão.

Dessa forma, este estudo tem por objetivo avaliar o desempenho do tratamento físico-químico com dois coagulantes em escala de laboratório comparativamente com um tratamento em escala industrial, na remoção de DQO, COT, área espectral e turbidez para geração de efluente tratado com fins de reuso.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Comparar o desempenho do tratamento físico-químico com dois coagulantes em escala de laboratório comparativamente com tratamento em escala industrial, na remoção de DQO, COT, área espectral e turbidez para geração de efluente tratado com fins de reuso.

2.1.1 Objetivos específicos

- Avaliar o tratamento físico-químico de efluente de flexografia utilizando o sulfato de alumínio e tanino;
- Otimizar a condição de tratamento em função do pH, concentração e tipo de coagulante, além do tempo de sedimentação;
- Propor condições de reuso com base no desempenho do processo de tratamento de condição ótima.

3 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

3.1 A indústria gráfica brasileira

O mercado gráfico é um importante componente da economia e responsável por milhares de empregos no Brasil (ARAUJO, 2020). Segundo dados divulgados pela Secretaria Especial de Previdência e Trabalho, são contabilizadas 17671 indústrias gráficas espalhadas em todas as regiões do país, as quais empregam 172114 trabalhadores, sendo que 97% das gráficas são de micro (com até 9 empregados) ou pequeno porte (de 10 a 49 empregados) (CEREGATO, 2021).

Entretanto, esta importante indústria passa por desafios (ARAUJO, 2020), pois é uma das mais sensíveis, visto que ela é uma das primeiras a sentir os efeitos, tanto os negativos quanto os positivos, do mercado (COSTA, 2017).

De acordo com o Ministério da Economia, a balança comercial do setor gráfico encerrou o quarto trimestre de 2021 com superávit de US\$ 4,5 milhões. No trimestre anterior, a balança havia sido deficitária em US\$ 300 mil. No ano de 2021, a balança comercial do setor fechou com superávit de US\$ 8,0 milhões (ABIGRAF, 2021).

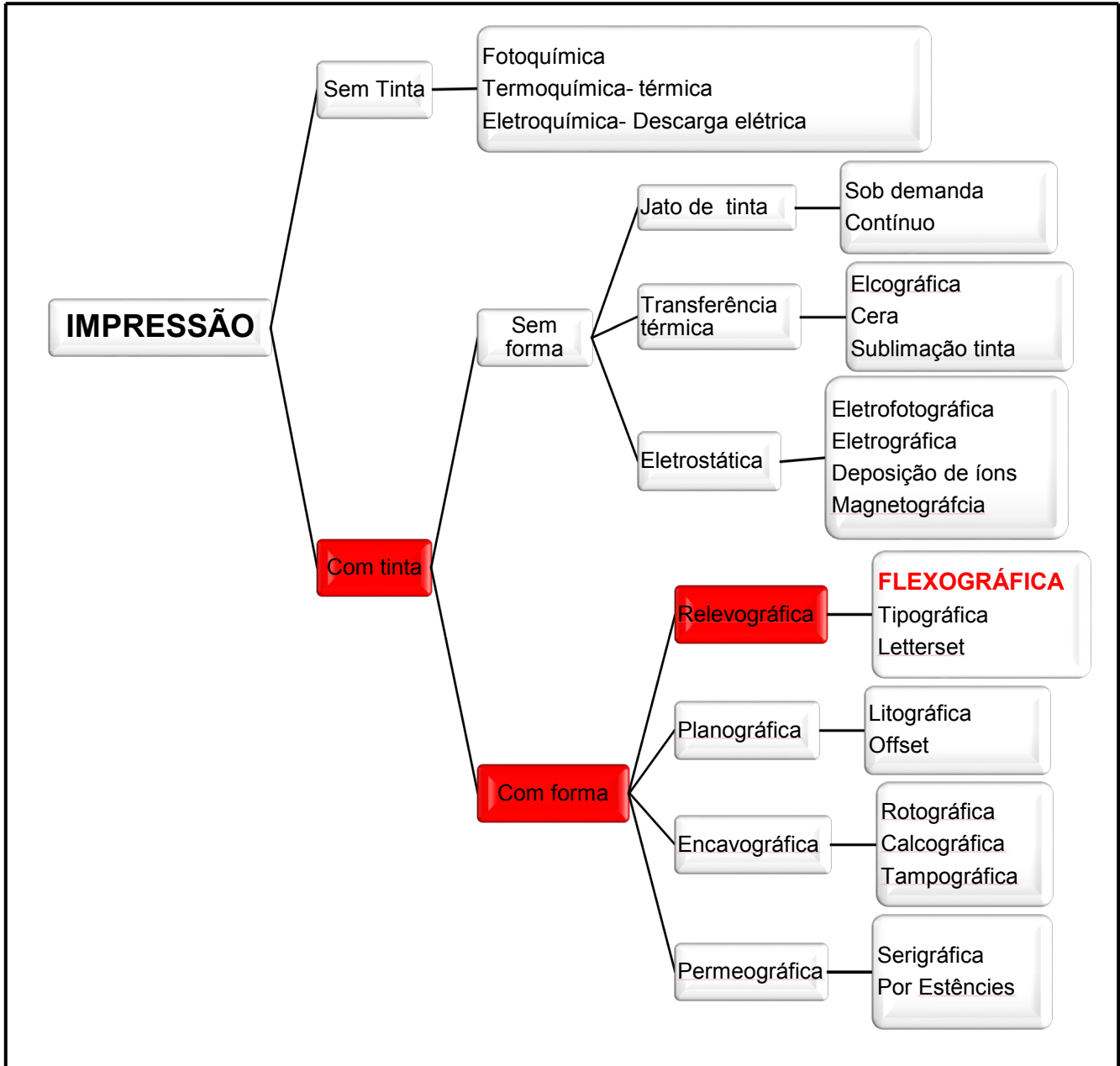
No quarto trimestre deste mesmo ano, as exportações totalizaram US\$ 66,9 milhões, alta de 39,2% em relação ao mesmo período de 2020. As exportações do setor foram compostas, principalmente, por produtos do segmento de embalagens (US\$ 44,9 milhões) e de Editorial (US\$ 10,9 milhões) (ABIGRAF, 2021).

Os serviços gráficos usam papel ou cartão como suporte, sendo frequente também, a impressão sobre plásticos e metais e em menor escala, vidro e tecidos (SILVA, *et al.*, 2021). Este processo é composto por etapas, descritas conforme Cetesb (2009) em seu guia técnico ambiental da indústria gráfica:

- **Pré-impressão:** representa o início do processo gráfico e inclui uma sequência de operações que permitem a passagem da arte a ser impressa do seu original para o portador de imagem, também conhecido como fôrma. Existem duas grandes alternativas tecnológicas para esta etapa de pré-impressão: a analógica e a digital. Na digital, a transferência da imagem para a fôrma é feita diretamente do computador. Já na analógica, esta transferência é feita indiretamente, de forma manual ou mecânica.

- **Impressão:** é a principal etapa da indústria gráfica e consiste na transferência da imagem, contida na fôrma, para um substrato. Os diversos sistemas de impressão estão representados na Figura 1 a seguir:

Figura 1 - Sistemas de impressões realizados pelas indústrias gráficas



Fonte: adaptado de Cetesb, 2003

Os diversos sistemas de impressões realizados pelas indústrias gráficas são descritos na Figura 1, onde destaca-se em preenchimento vermelho a categoria em que o sistema flexográfico está classificado. Dessa forma, pode-se dizer que a flexografia é um dos tipos de impressão relevográfica que utiliza forma ou matriz de

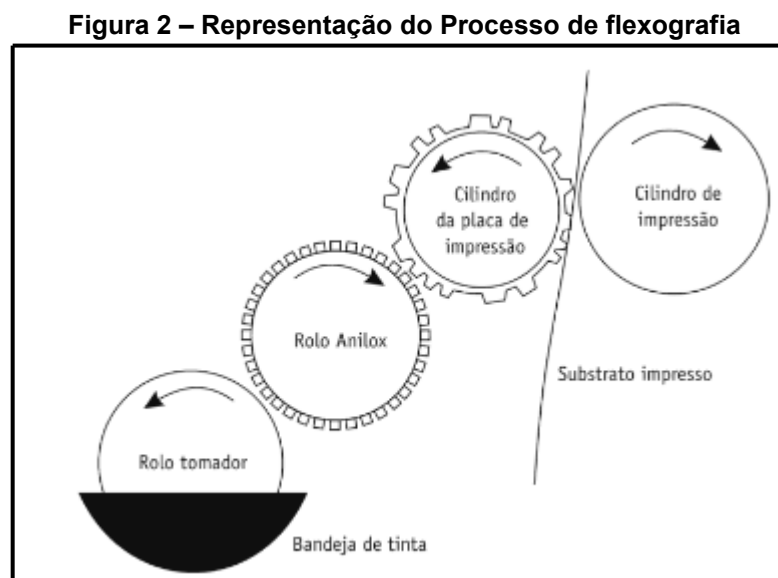
impressão em alto relevo onde os elementos a serem impressos ficam na matriz sendo entintados no suporte mediante pressão.

De acordo com Cetesb (2009), “entre a diversidade de sistemas de impressão, seis se destacam por serem mais comuns na indústria, sendo eles: tipografia, offset, rotogravura, serigrafia, impressão digital além da flexografia”, sistema que será discutido nesse trabalho.

3.2 Flexografia

A flexografia é um sistema de impressão direto e rotativo, bastante popular e versátil – que se utiliza de clichês em relevo (sendo de borracha ou fotopolímero), que recebem tinta e a transferem para a superfície a ser impressa (BAER, 2021). A impressão é realizada sobre o substrato (papel, plástico, dentre outros) e utiliza tintas fluidas, voláteis e de secagem rápida - a base de água ou solvente - (CETESB, 2009), sendo a cor, feita por meio de pigmentos ou corantes (CRIATIVE, 2017).

O processo de impressão pode ser visualizado na Figura 2:



Fonte: Nnamdi, 2010

Sua virtude está na flexibilidade para imprimir os mais variados suportes, de durezas e superfícies diferentes, o que torna o processo atrativo para, por exemplo, a impressão de embalagens flexíveis, tais como plásticos em geral, papéis, papelão ondulado, alumínio, entre outros (SINGRAFRN, 2019).

3.2.1 Tintas

A flexografia imprime com diferentes sistemas de tintas: a base de solventes, a base de água e as tintas curáveis por ultravioleta ou feixe de elétrons (BAER, 2021). As tintas de impressão são destinadas à aplicação em superfícies diversas, como papel, filmes plásticos, borracha, metal, plástico, entre outros (BARRIOS, 2017).

As tintas são compostas por, dependendo de sua composição e aplicação: resina (aglutinante), pigmento ou corante (agentes de cor), solvente, aditivos e produtos auxiliares (ABTG, 2008).

3.2.1.1 Resina

São compostos poliméricos naturais ou sintéticos, sólidos de estrutura complexa que, na tinta, têm a função de dispersar os pigmentos e formar uma fina película aplicada sobre o substrato (ABTG, 2008); isso se dá depois que o solvente evapora e a resina se solidifica (SCARPETA, 2007). É a parte não volátil da tinta, e leva o nome da resina básica que a compõe (FAZENDA, 2009).

A formação do filme de tinta está relacionada com o mecanismo de reações químicas do sistema polimérico, embora outros componentes, como solventes, pigmentos e aditivos, tenham influência no sentido de retardar, acelerar e até inibir essas reações (FAZENDA, 2009).

Dentre os diversos tipos de resinas as mais utilizadas nas tintas de impressão são as descritas por ABTG (2008) no Quadro 1 a seguir:

Quadro 1 - Tipos de resinas utilizadas na formulação de tintas

Tipo de resina	Descrição
Resina nitrocelulose	Obtida da reação de celulose (algodão) com ácido nítrico em solução com ácido sulfúrico, utilizada em tintas líquidas e base para a maioria das tintas flexográficas, podendo ser modificadas com outras resinas para a obtenção de características específicas desejadas. Propriedades: adesão, baixo custo, compatibilidade e boa secagem
Resina maleica-fumárica	Obtida da reação do anidrido maleico-fumárico com breu ou com ácido tereftálico e poliol. Utilizada em combinação com outras resinas, especialmente a nitrocelulose, em tintas líquidas. Propriedades: dureza, brilho e alta adesão, melhorando a printabilidade
Resina poliamida	Produto da reação de policondensação de ácidos carboxílicos com diaminas. Propriedades: alto brilho, adesão, baixa resistência às altas temperaturas, boa resistência a água
Resina poliuretânica	Produto da reação de policondensação de poliol com isocianato. Propriedades: resistência química, adesão e boa resistência a alta temperatura
Resinas cetônica	Produto da reação entre cetonas cíclicas e formaldeído. Propriedades: alta transparência, alto brilho, secagem, flexibilidade e melhora da printabilidade
Resina acrílica	Produto da reação de polimerização do metilmetacrilato em reações de adição. Propriedades: alto brilho, resistência química e adesão
Resina melamínica	Produto da reação de melamina e do formaldeído. Propriedades: alta resistência térmica, dureza, resistência química e física
Resina para tinta Ultravioleta (UV) e <i>Electron beam</i> (EB)	Diferente das demais, o tamanho da cadeia do polímero e reatividade, chamada de oligômeros, derivadas do poliéster, acrílico e do poliuretano

Fonte: Adaptado de ABTG, 2008

Dentre as resinas, as acrílicas possuem alto poder tintorial quando utilizadas nas tintas à base de água, além de excelente capacidade de incorporação de pigmentos (SCARPETA, 2007).

3.2.1.2 Pigmento

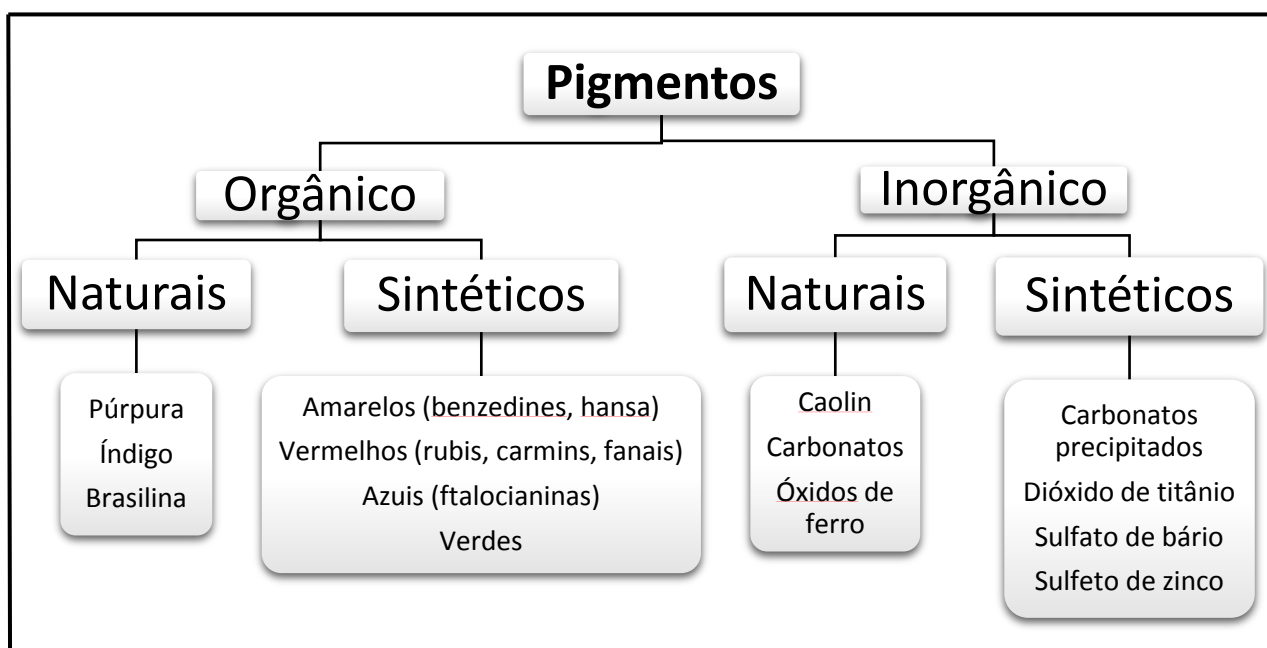
O pigmento é um material sólido finamente dividido, insolúvel no meio, utilizado para conferir cor, opacidade, certas características de resistência e outros efeitos, podendo ser colorido, não coloridos e anticorrosivos (FAZENDA, 2009). Ele corresponde de 8% a 30% da formulação total da tinta, devendo ser o menos abrasivo possível, para evitar danos ao equipamento de impressão (SCARPETA, 2007).

Os tipos de pigmentos utilizados podem ser classificados em orgânico ou inorgânico - branco, preto, colorido e metálico - (ABTG, 2008):

- **Pigmento inorgânico:** extraído da natureza na forma de minerais (óxidos, sais) ou sintetizados (reação química). Pigmento branco: dióxido de titânio e óxidos de alumínio.
- **Pigmento orgânico:** obtido de síntese, a partir de derivado de petróleo (alcatrão de hulha). Pode possuí na estrutura, metais como bário, cobre, etc.

Na Figura 3, têm-se listados os pigmentos utilizados nas tintas para impressão e sua respectiva classificação:

Figura 3 - Classificação de pigmentos



Fonte: Adaptado de Scarpeta, 2007

Os pigmentos mais utilizados na composição das tintas flexográficas são os orgânicos e o dióxido de titânio (inorgânico) (SCARPETA, 2007).

3.2.1.3 Corantes

São compostos orgânicos ou misturas que são usadas para atribuir cor a um substrato (PAVITHRA *et al.*, 2019). Possuem alto poder tintorial, mas seu uso nas tintas é restrito, pois, com exceção dos complexos metálicos, não possuem boas resistências em quase nenhuma propriedade relevante, como resistência a luz, álcalis e ácidos (SCARPETA, 2007).

As anilinas são os corantes mais conhecidos e possuem na estrutura orgânica átomos de nitrogênio (ABTG, 2008). Os corantes fluorescentes são soluções fracas de corantes básicos (vermelho, amarelo) dissolvidos em resina. Devido a composição química, baixa concentração de cor e alta solubilidade, sob luz UV e visível, tornam-se fluorescente e brilhantes (ABTG, 2008).

3.2.2 Verniz

É a mistura de uma ou mais resinas com um ou mais solventes. Sua função é transportar o pigmento até o substrato, após evaporação do solvente forma um filme que fixa o pigmento ou corante no suporte proporcionando coloração e brilho (SCARPETA, 2007).

3.2.3 Solvente

Líquido volátil, geralmente de baixo ponto de ebulição, utilizado nas tintas e correlatos para dissolver a resina (FAZENDA, 2009). São classificados de acordo com a solubilidade da resina ou pela evaporação (ABTG, 2008), sendo descritos por Scarpeta (2007) como:

- **Solvente verdadeiro:** aquele que efetivamente e sozinho dilui a resina ou o sistema de resinas. Representado pelos ésteres e cetonas.

- **Cossolvente:** consegue solubilizar parcialmente, melhorando a performance do sistema. Representado por ésteres de glicóis, principalmente ésteres do propileno glicol.
- **Diluyente:** não possui propriedade solvente em relação as resinas do sistema e são utilizados para reduzir o custo da formulação. Representado pelos álcoois.

De acordo com a ABTG (2008), a classificação quanto a evaporação pode ser:

- Leve: P.E. < 100 °C
- Médio: 120 °C > P.E. > 100 °C
- Pesado: P.E > 120 °C

3.2.4 Aditivo

Ingrediente adicionado nas tintas que proporciona características especiais a suas propriedades e utilizado para auxiliar nas diversas fases de fabricação. Existe uma diversidade de aditivos para tintas e vernizes (secantes, niveladores, antiespumantes, dispersantes, etc.) (FAZENDA, 2009).

3.3 Geração e tratamento de efluente de flexografia

As águas residuais associadas à fabricação ou utilização de tintas flexográficas à base de água normalmente contêm corantes (pigmentos e corantes), solventes auxiliares (álcoois, glicóis e éteres glicólicos) e aditivos (ceras, plastificantes e antiespumantes) (MA; XIA, 2009).

Os efluentes flexográficos são provenientes da preparação convencional de chapas de impressão (processo de pré-impressão), bem como da limpeza das máquinas de impressão (KIURSKI *et al.*, 2012).

Esses efluentes são caracterizados por demanda química de oxigênio (DQO) elevada, difícil biodegradabilidade dos pigmentos, altas concentrações de metais e sólidos em suspensão, além de forte cor, já que 5% das tintas usadas no processo acabam diretamente no efluente (MA; XIA, 2009). A Tabela 1 mostra valores desses parâmetros encontrados em estudos na literatura:

Tabela 1 - Caracterização de efluente flexográfico na literatura

Parâmetros			Referência
DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	Cor	Sólidos em suspensão (mg.L ⁻¹)	
3830	-	-	Sayin, 2022
9500	Preta	10000	Papadopoulos <i>et. al.</i> , 2019
3677	-	4762	Dhimni <i>et. al.</i> , 2015
4500	Preta	200	Ma; Xia, 2010
1900	Cinza escura	-	Diamadopoulos, 2009

Nota: DQO: demanda química de oxigênio. Todos os efluentes estudados são reais, com tinta à base de água.

Fonte: autoria própria (2022)

Conforme apresentado, os parâmetros podem expressar ordem variada entre o processo de impressão, dessa forma, busca-se eficiência nos diferentes tratamentos. Na Tabela 2, estão apresentados estudos com processos físico-químicos para tratar efluentes flexográficos e de tintas para impressão:

Tabela 2- Processos de tratamento e suas eficiências para efluente flexográfico e de tintas de impressão

Sistema de tratamento	Condição ótima de tratamento	Eficiência de remoção (%)	Referência
Coagulação/ fenton/ foto-fenton	FeCl ₃ : 0,5 g.L ⁻¹ ; Fenton: 7,350 g.L ⁻¹ catalisador de ferro e H ₂ O ₂ : 36 mg.L ⁻¹ ;	COT Coagulação: 77,5 Fenton: 95 Foto-fenton: 95,3 Turbidez Coagulação: 99	Sayin <i>et al</i> , 2022
Eletrocoagulação/ flotação/ sedimentação	Densidade de corrente: 6,02 – 22,18 mA/ cm ² Tempo: 5 -74 min	DQO: 92,1	Emamjomeh <i>et al</i> , 2020
Eletrocoagulação	Eletrodos de alumínio ou ferro (12 cm área)	DOQ: 85,8	Papadopoulos <i>et al.</i> , 2019
Coagulação/ adsorção	FeCl ₃ : Carvão granular e em pó: 7 g.L ⁻¹	COT Coagulação: 86,9 Adsorção carvão granular: 35,1 Adsorção carvão em pó: 59,3 AE Coagulação: 99,7	Klancnik, 2014
Coagulação / floculação	Al ₂ (SO ₄) ₃ : 8250 mg.L ⁻¹ Praestol: 80 mg.L ⁻¹	DQO: 97	Fendri, <i>et al.</i> , 2013

Coagulação/ oxidação eletroquímica	Cal: 3 g.L ⁻¹ Al ₂ (SO ₄) ₃ : 0,05 – 1 mM Eletrodos de boro: Ø 0,1 m, área: 70 cm ²	DQO Coagulação: 60 Oxidação: 50 Turbidez Coagulação: 100 AE Oxidação: 64 **	Diamadopoulos, <i>et al.</i> , 2009
Fenton/ Coagulação	PAC: 0,7 g.L ⁻¹ FeSO ₄ : 0,3 g.L ⁻¹ H ₂ O ₂ : 50 mg.L ⁻¹	DQO: 93,4	Ma; Xia, 2009
Floculação/ adsorção com zeólitas	FeCl ₃ : 0,70 g.L ⁻¹ AlCl ₃ : 0,56 g.L ⁻¹ Zeólitas ZM-5: 5,0 g.L ⁻¹	COT Floculação: 88; Adsorção:95	Metes, <i>et al.</i> , 2004

Nota: PAC: policloreto de alumínio; DQO: demanda química de oxigênio; COT: carbono orgânico total. **AE: área espectral (não identificado a faixa de leitura, somente pico em 300 nm)

Fonte: autoria própria (2022)

Entre os estudos listados da literatura, somente Metes *et al.* (2004), realizou simulação de efluente com pigmentos, sendo os demais efluentes reais de indústrias.

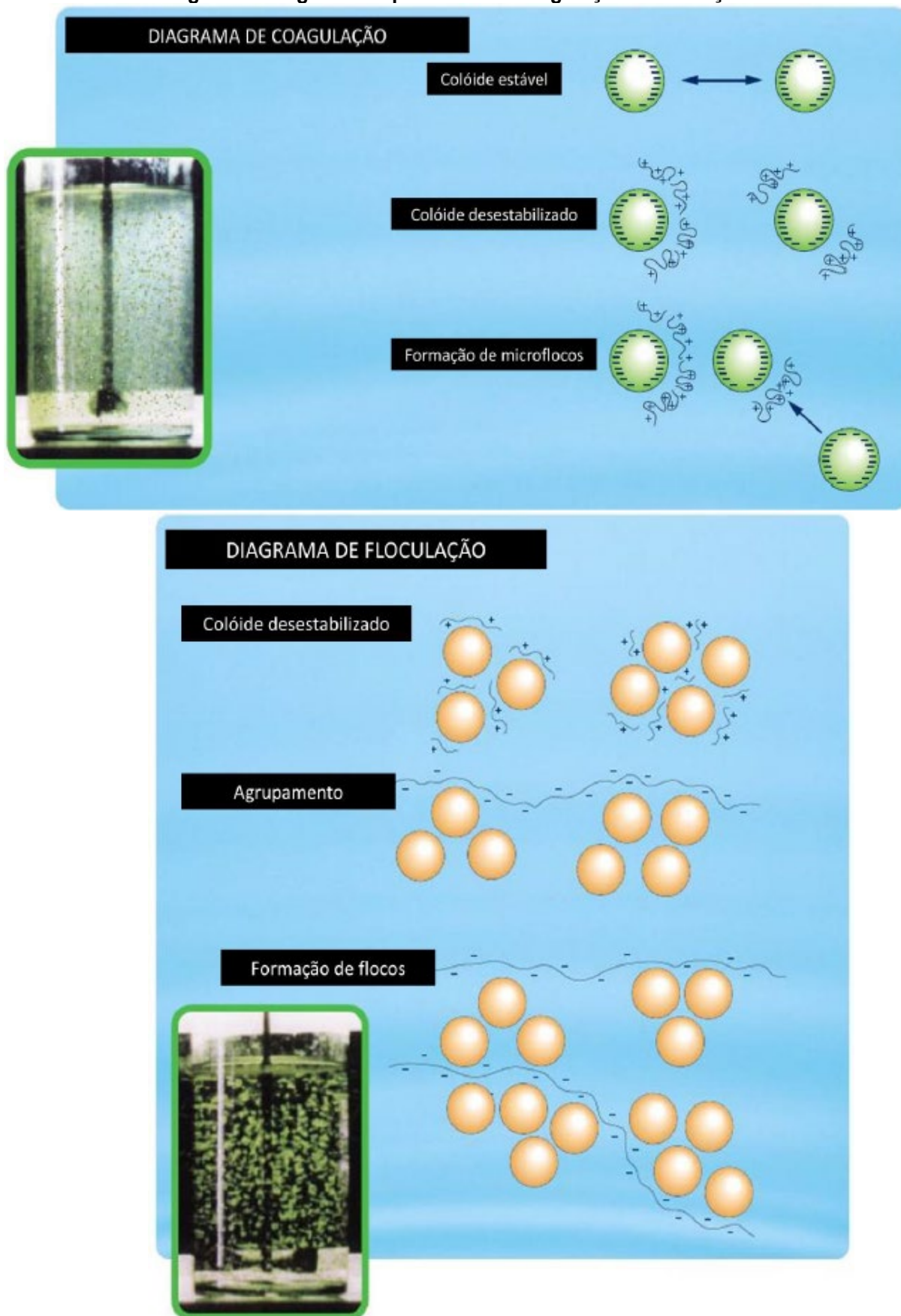
3.4 Tratamento de efluente de flexografia por processo físico-químico

Os processos físico-químicos de coagulação, floculação e sedimentação são usados para agregarem coloides e partículas dissolvidas em flocos maiores, que podem ser facilmente sedimentados por gravidade e em seguida removidos (NUNES, 2012).

A coagulação é a operação unitária responsável pela desestabilização das partículas coloidais (CETESB, 2018) e outras partículas que se encontram dissolvidas, através da adição de produtos químicos; neutralização das forças elétricas superficiais e anulação das forças repulsivas, por meio de sistema de agitação (RESENDE, 2018), preparando para remoção nas etapas subsequentes (CETESB, 2018).

Já a floculação é um processo físico no qual as partículas coloidais são colocadas em contato umas com as outras de modo a permitir o aumento de seu tamanho físico, alterando, desta forma, a sua distribuição (CETESB, 2018). Esse processo ocorre sempre em condições de fraca agitação e por um tempo maior que a coagulação (FURLAN, 2008). A Figura 4 representa o processo de coagulação e floculação das partículas coloidais:

Figura 4 - Diagrama do processo de coagulação e floculação



Fonte: Mangrich *et al*, 2014

O objetivo da sedimentação é remover sólidos facilmente sedimentáveis reduzindo o conteúdo de sólidos suspensos (METCALF & EDDY, 2016). É uma das operações unitárias mais usadas no tratamento de efluentes líquidos. O principal objetivo é produzir um efluente clarificado, mas por outro lado essa separação entre sólido e líquido acaba gerando o lodo (CHAGAS, 2009).

Todavia é necessário averiguar as condições ótimas para a coagulação de diferentes tipos de efluente, principalmente os com corantes. Além disso, a eficácia da coagulação pode ser melhorada pela seleção adequada do coagulante, floculante, e otimização de parâmetros de processo, como: pH, dosagem de coagulante/floculante, tempo de mistura, tempo de sedimentação, etc (VERMA; DASH; BHUNIA, 2012).

Sendo assim, na Tabela 3 estão relacionados estudos oriundo de diferentes efluentes, contendo corantes, em tratamento físico-químico com os mesmos coagulantes desse estudo, assim como as condições ótimas de tratamento e suas eficiências:

Tabela 3 - Tratamento Físico-químico e suas eficiências em diferentes efluentes com corantes

Tipo de efluente	Tipo de Coagulante	Concentração (mg.L ⁻¹)	Eficiência de remoção (%)	Referência
Serigrafia	Sulfato de alumínio	1000	DQO: 84 Turbidez: 89	Bezerra <i>et al.</i> , 2017
Estamparia	Sulfato de alumínio	450	DQO: 85 Turbidez: 99	Marques <i>et al.</i> , 2017
Tintas	Tanino	600	DQO: 87	Aboulhassan, <i>et al.</i> , 2016
	Sulfato de alumínio	800	DQO: 81	
Lavanderia	Tanino	80	DQO: 15 Turbidez: 90	Souza <i>et al.</i> , 2014
	Sulfato de alumínio	300	DQO: 95 Turbidez: 39	
Lavanderia	Tanino	100	DQO: 60 Turbidez: 98	Stroher, <i>et al.</i> , 2013

Nota: DQO= demanda química de oxigênio

Fonte: autoria própria (2022)

Como apresentado na Tabela 3 os estudos de efluentes com característica comum da presença de corantes, utilizaram tratamento físico-químico com sulfato de

alumínio, tanino ou ambos para comparação de eficiência de remoção dos parâmetros de DQO e turbidez. Apesar das remoções serem na maioria satisfatória, alguns demonstraram baixo desempenho devido a compostos dissolvidos existente após tratamento.

3.4.1 Coagulantes

Os coagulantes possuem extrema significância no tratamento físico-químico, pois neutralizam e aglomeram os coloides (partículas suspensas) que possibilitam a separação na etapa posterior (LIMA JÚNIOR; ABREU, 2018).

No processo de coagulação/floculação, a escolha do coagulante tem um papel significativo na remoção do contaminante e existem diversas categorias de coagulantes, incluindo inorgânicos e orgânicos (HUANG, *et al.*, 2014).

Coagulante inorgânico tem melhor desempenho de adsorção, baixo custo, precipitação rápida, ampla aplicação (ZHONG *et al.*, 2014), representado por sais de ferro e alumínio, sendo amplamente utilizados no tratamento de efluentes, em destaque com corantes (HUANG *et al.*, 2014)

São formados por carga positiva de íons hidratados ou íons complexos polinucleares, que podem neutralizar com íon colóide na água e reduzir o potencial de superfície das partículas, faz sua atração e gera floco, de modo a atingir o objetivo de separação e purificação (ZHONG *et al.*, 2014).

No entanto, segundo estudo de Vijayaraghavan, *et al.* (2011), “o lodo gerado a partir de um coagulante inorgânico é tóxico, produzido em grande quantidade e afeta consideravelmente o pH da água tratada”.

Devido aos problemas ambientais e ao risco à saúde humana, tem-se buscado alternativas ao uso destes coagulantes e dentre elas encontram-se os coagulantes naturais, também chamados de polímeros naturais ou biopolímeros (MARCHETTI, 2014).

Os coagulantes naturais são produzidos ou extraídos de diferentes fontes, como microrganismos, animais ou plantas (NIMESHA, *et al.*, 2022). Alguns coagulantes naturais são comercializados em forma de tanino, que são comumente extraídos de vegetais, por exemplo, da casca ou madeira Acácia negra, taninos também são conhecidos como polímeros de Mannich de natureza poli-iônica (SALEEM; BACHMANN, 2019).

O peso molecular do coagulante natural é muito importante na interação das partículas. Se o peso molecular do coagulante natural for maior, ele pode formar interações fortes com as partículas e levar à formação de flocos fortes e melhorar a sedimentação (ANG *et al.*, 2020).

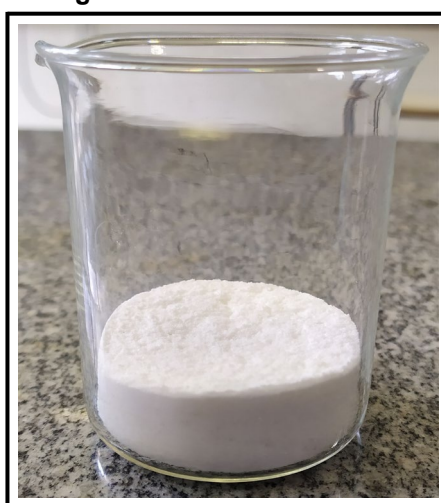
O lodo resultante do tratamento como os polímeros catiônicos orgânicos naturais pode ser matéria-prima para produção de fertilizante orgânico de liberação lenta e controlada de nitrogênio, desde que majoritariamente orgânico e sem metais tóxicos (MANGRICH, *et al.*, 2014).

3.4.1.1 Sulfato de alumínio

O sulfato de alumínio tem sua utilização ou tratamento de águas datado desde os egípcios (2000 a.C.). Mas com base em registros históricos, foi por volta de 1881 intensificado seu uso no tratamento de águas, e mais tarde se transformou no coagulante mais utilizado do mundo (COSTA, 2013).

A espécie química do sulfato de alumínio tem fórmula química $Al_2(SO_4)_3 \cdot n \cdot H_2O$, em que “n” representa aproximadamente 14 a 18 moléculas de água de cristalização. Quando anidro tem peso molecular igual a 342,16 g/ mol e decompõe-se à temperatura de 600 °C com desprendimento de anidrido sulfúrico (COUTO JUNIOR, 2011). Atualmente seu valor comercial varia entre R\$ 7,50/ kg na forma sólida (CASA DOS QUÍMICOS). A Figura 5, mostra o sal de sulfato de alumínio:

Figura 5 - Sulfato de alumínio



Fonte: autoria própria (2022)

Sua atuação como agente de coagulação em efluentes é característica por apresentar resultados com baixa incidência de sólidos em suspensão ou dissolvidos (COSTA, 2013).

Conforme ocorrem as reações de hidrólise, nota-se que são formados íons H^+ que ao aumentar na água, diminui seu pH, tornando-a mais ácida. Sendo assim, em pH mais ácido, forma-se menos precipitado e por isso se diminui a eficiência da coagulação do sulfato de alumínio na água (ROSALINO, 2011).

Dessa forma, a maior eficiência é apresentada entre pH 5,5 a 8,5. Fora dessa faixa os íons de alumínio se tornam solúveis em água e por isso não precipitam tornando ineficiente a coagulação (ROSALINO, 2011). A Tabela 4, apresenta algumas especificações do sulfato de alumínio comercial utilizado neste estudo:

Tabela 4 - Especificações do sulfato de alumínio

Descrição	Especificação
Marca	Reatec
Aspecto físico	Sólido Branco
Teor (%)	98/102
Insolúveis em água (%)	0,01
Cloreto(%)	0,02
Arsênio (ppm)	0,5
Sub. Não ppt $NH_4OH(SO_4)$ (%)	0,2
Metais pesados (%)	0,002
Ferro (%)	0,01

Nota: ppm (partes por milhão)

Fonte: autoria própria (2022)

Sua aplicação, geralmente, está condicionada a pHs alcalinos, onde há formação do hidróxido de alumínio, de baixa solubilidade e de aspecto gelatinoso, responsável pela formação de complexos que são arrastados para formação de pequenos coágulos (COSTA, 2013).

No entanto, a utilização de sulfato de alumínio como coagulante no tratamento de água possui certas críticas, já que sua presença na água vem sendo associado a ocorrência de doenças neurológicas no ser humano (TREVISAN, 2014).

3.4.1.2 Tanino

O tanino Tanfloc, produzido pela empresa Tanac S.A, é um polímero orgânico catiônico de baixo peso molecular, de origem essencialmente vegetal e que atua como coagulante, floculante e auxiliar de coagulação no tratamento de águas em geral (TANAC, 2022).

É extraído da *Acacia mearnsii* de Wildemann, ou acácia negra (conforme Figura 6), planta de origem australiana, que é cultivada no Brasil, principalmente no Rio Grande do Sul (MANGRICH, *et al.*, 2014), pois é comum em regiões de clima subtropical (MIDGLEY, TURNBULL, 2003). Da sua casca é extraído um extrato vegetal conhecido como tanino muito utilizada pelos curtumes na industrialização do couro, mas também possui vários outros benefícios como a criação de produtos para tratamento de águas (TANAC, 2022).

Figura 6 - Árvore Acácia Negra e tanino em pó



Fonte: Useful Temperate Plants, 2022

Os taninos são classificados em hidrolisáveis e condensado, os hidrolisáveis possuem como unidade básica o ácido gálico que pode estar ligado a estruturas glicosídicas, já os condensados baseiam-se em unidades monoméricas do tipo flavan-3-ol, que é o caso do tanino da *Acacia mearnsii* (MANGRICH, *et al.*, 2014).

O tanino cationizado se torna um excelente doador de prótons, dada a presença de grupos fenólicos, que lhe conferem alta estabilidade devido as estruturas de ressonância e permite uma maior efetividade no processo de coagulação (COSTA, 2013).

Atua em sistemas de partículas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre estas partículas, sendo o processo responsável pela formação de flocos e consequente sedimentação (TANAC, 2022).

Segundo fabricante, não altera o pH da água tratada por não consumir a alcalinidade do meio, ao mesmo tempo que é efetivo em uma faixa de pH de 4,5 a 8,0 e pode ser aplicado diretamente ou solução diluída, sozinho ou em combinação com outros agentes como sulfato de alumínio (TANAC, 2022). Na Tabela 5, estão presentes as especificações do tanino:

Tabela 5 - Especificações do tanino

Descrição	Especificação
Marca	Tanac Tanfloc
Aspecto físico	Pó marrom fino higroscópico
Umidade ao embalar (%)	4,5 – 6,5
Viscosidade	Não aplicável
Sólidos totais	Não aplicável
pH (sol. 10%)	1,8 – 2,7
Consumo de alcalinidade	Inexistente
Alteração do pH da água	Inexistente
Solubilidade	Solúvel em água

Fonte: Tanac (2022)

O tanino é um coagulante vegetal efetivo numa ampla faixa de pH, que elimina o uso de alcalinizantes (como hidróxido de sódio e cal), não acrescenta metais ao processo e proporciona uma redução no volume de lodo a ser descartado. Ainda, devido a sua composição orgânica, pode ser biologicamente degradado ou eliminado termicamente (ÖZACAR, ŞENGİL, 2003). Atualmente é comercializado por aproximadamente R\$ 30,00/ kg na forma em pó (TANAC, 2023).

3.5 Reuso de água

O crescente aumento do custo da água tratada, bem como normas estabelecidas para descarte de efluentes tem incentivado o reaproveitamento da água industrial (PORTO; SCHOENHALS, 2013).

Em certas regiões, a pressão sobre as massas de água tem se agravado devido à crescente diminuição de pluviosidade e ocorrência de secas prolongadas, sendo

ainda expectável que fenômenos meteorológicos extremos tendam a tornar-se mais frequentes, associados aos efeitos das alterações climáticas (APA, 2019).

A capital curitibana sofreu recentemente com escassez de água e abastecimento público devido a essas razões. Segundo Ideal Ambiental (2021), “ desde Julho de 2019, Curitiba atravessa uma seca histórica, já que a frequência das chuvas não tem sido favorável na região, para muitos especialistas considera-se o pior cenário em mais de 100 anos”.

A prática do reuso se processa de forma direta quando o efluente, após tratamento, é utilizado no ponto de aplicação. Também pode ocorrer de forma indireta quando o efluente é aplicado após a passagem por um curso d'água (CREA, 2020).

O reuso de água direto ou indireto, também pode ser decorrente de ações planejadas ou não e são descritos por FIESP (2004):

a) **reuso indireto não planejado**: ocorre quando a água, utilizada em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada;

b) **reuso indireto planejado**: ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são descarregados de forma planejada nos corpos d'água superficiais ou subterrâneos, para o uso a jusante na forma diluída e de maneira controlada;

c) **reuso direto planejado de água**: ocorre quando os efluentes, após tratamento, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local de reuso, não são descarregados no meio ambiente. É o caso da maior ocorrência, destinando-se a indústria ou irrigação;

d) **reciclagem de água**: é o reuso interno da água, antes de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição, para servir como fonte suplementar de abastecimento do uso original. É o caso particular do reuso direto.

O grau de tratamento para uso múltiplo de esgoto tratado é definido, por regra geral, pelo uso mais restritivo quanto à qualidade de esgoto tratado e classificado de acordo com ANA (2005) na Tabela 6 a seguir:

Tabela 6 - Condições e padrões para reuso de efluentes

Parâmetro	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Coliformes fecais	Não detectáveis	≤ 1000 coliformes fecais/ mL	≤ 200 coliformes fecais/ 100 mL
pH	Entre 6 e 9	Entre 6 e 9	Entre 6 e 9
Cor	≤ 10 UH	-	< 30 UH
Turbidez	≤ 2 UNT	-	< 5 UNT
Odor e aparência	Não desagradáveis	Não desagradáveis	-
Óleos e graxas	≤ 1 mg.L ⁻¹	≤ 1 mg.L ⁻¹	-
DBO	≤ 10 mg.L ⁻¹	≤ 30 mg.L ⁻¹	< 20 mg.L ⁻¹
Compostos orgânicos voláteis	Ausentes	Ausentes	-
Nitrato	< 10 mg.L ⁻¹	-	-
Nitrogênio amoniacal	≤ 20 mg.L ⁻¹	-	-
Nitrito	≤ 1 mg.L ⁻¹	-	-
Fósforo total	≤ 0,1 mg.L ⁻¹	-	-
Sólidos suspensos totais (SST)	≤ 5 mg.L ⁻¹	30 mg.L ⁻¹	< 20 mg.L ⁻¹
Sólidos dissolvidos totais (SDT)	≤ 500 mg.L ⁻¹	-	-

Nota: DBO (demanda biológica de oxigênio)

Fonte: adaptado de ANA (2005)

Conforme Tabela 6, a Classe 1 corresponde a usos preponderantes na descarga de bacias sanitárias, lavagens de pisos, fins ornamentais e lavagem de roupas e veículos, já a Classe 2 está direcionada a construção de edificações. Na Classe 3 o uso destina-se a irrigação de áreas verdes e jardins (ANA, 2005).

Em relação a legislação, a Lei 9433/97, dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos, criando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH, dando ênfase ao uso sustentável da água, contudo, não há uma legislação específica para água de reuso que garanta qualidade sanitária a nível colimétrico e físico-químico para as diferentes possibilidades de destinação (MOURA, 2020), no entanto no Quadro 2, estão relacionadas as normativas, Resoluções e Projetos de Leis das diferentes regiões do país vigentes:

Quadro 2 - Legislação de reuso no Brasil

Legislação	Descrição
Nacional	
ABNT 13969/97	Norma técnica de tanques sépticos
Resolução nº54 de 2005	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
PL nº58 de 2016	Alteração da Lei nº11445 de 2007 (fontes alternativas de água)
ANA 2005	Manual de conservação e reuso de água em edificações
Estaduais	
Bahia - Resolução nº75 de 2010	
Ceará - Lei nº 16033 de 2016	
Espirito Santo – Lei nº 10487 de 2016	
Rio de Janeiro – Lei nº 7424 de 2016	
Rio de Janeiro – Lei nº 7599 de 2017	
São Paulo – Lei nº 16174 de 2015	
São Paulo – Lei nº 16160 de 2015	Criação de programa para reuso em lava-rápidos, município de São Paulo
Paraná - Lei nº11522 de 2012	Parâmetros de qualidade – Lei do município de Londrina
Rio Grande do Sul - Lei nº 6616 de 2006	Programa municipal de conservação, reuso e uso racional da água.

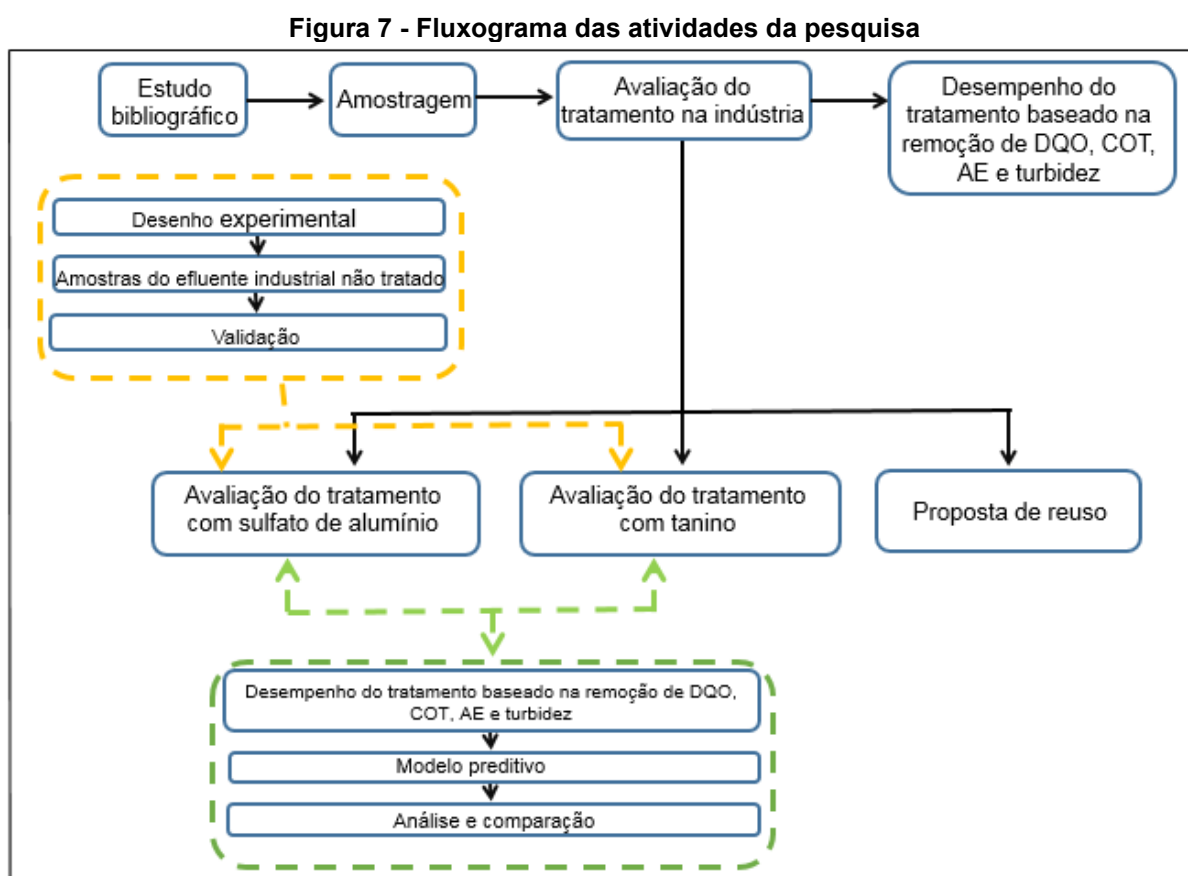
Fonte: adaptado de Moura (2020)

Sendo assim, este estudo sugere analisar possibilidades de reuso total ou parcial do efluente tratado, para contribuir com o meio ambiente e com os custos com água de captação.

4 METODOLOGIA

4.1 Fluxograma das atividades da pesquisa

Esse estudo foi conduzido por etapas que estão relacionadas na Figura 7:



Fonte: autoria própria (2022)

4.2 Coleta, conservação e caracterização do efluente

O efluente industrial utilizado nesse estudo foi disponibilizado por uma planta industrial flexográfica localizada em Curitiba/PR, produtora de embalagens impressas por flexografia em papel *kraft*, para segmento primordial de sacaria. A empresa gera aproximadamente 10 m³ de efluente semanalmente, tratado em reator em batelada (2 reatores de 5 m³ em paralelo), com sulfato de alumínio e floculante aniônico, o qual é enviado posteriormente à rede coletora de esgoto para tratamento pela companhia de saneamento do município.

O efluente é gerado pela lavagem dos cilindros (clichês) e tinteiros, composto majoritariamente por tintas e seus componentes. O efluente gerado passa por um canal interno que o conduz a um tanque de recepção.

Foram realizadas seis coletas do efluente industrial não tratado no período de maio/2021 a setembro/2022, armazenadas em bombonas de 20L, preservadas na ausência de luz e transportado ao Laboratório de Tratamento de Águas Residuárias (LATAR) do Departamento de Química e Biologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) sendo mantido sob refrigeração a 4°C conforme ABNT 9898 (1987). Também foi possível coletar três amostras do efluente tratado pela indústria para análise, o qual teve a mesma preservação e análises do efluente industrial.

A caracterização das amostras foi realizada dentro das primeiras 24h após a coleta, analisando os parâmetros físico-químicos: pH (potencial hidrogeniônico), DQO (demanda química de oxigênio), COT (carbono orgânico Total), AE (área espectral) e Turbidez. A Tabela 7 contém a metodologia utilizada para cada parâmetro.

Tabela 7 - Métodos de análises físico-químico

Parâmetros	Unidades	Métodos	Equipamentos
DQO	mg O ₂ .L ⁻¹	Espectrofotométrico – 5220 D	Espectrofotômetro UV-Vis UV-1800 - Shimadzu
Área espectral	-	Espectrofotométrico – Varredura 200 a 800 nm	Espectrofotômetro UV-Vis UV-1800 - Shimadzu
Turbidez	UNT	Nefelométrico – 2130 B	Del Lab DLT-WV
COT	mg.L ⁻¹	Combustão infravermelha - 5310 B	Analisador de carbono orgânico total Thermo Hipertoc
pH	-	Potenciométrico – 4500 B	Simpla PH-140

Fonte: autoria própria (2022)

Para as análises de DQO, AE e COT as amostras foram filtradas em membrana de nitrocelulose com porosidade de 0,45 µm com auxílio de bomba à vácuo, já as amostras para turbidez não foram filtradas. Realizou-se as análises em triplicata conforme *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2018) e AE por adaptação do método de Salvador *et al.* (2012).

4.3 Planejamento experimental

Para analisar estatisticamente a influência do pH, concentração de coagulante (CCo) e tempo de sedimentação (TS) no tratamento físico-químico do efluente flexográfico, utilizou-se o planejamento experimental fatorial tipo estrela 2^3 (composto por três níveis), acrescido de quatro pontos centrais para estimativa dos coeficientes de variação (CV) das medições e do ponto estrela.

A vantagem desse planejamento experimental é analisar a influência de múltiplas variáveis simultaneamente resumindo os experimentos, custos e tempo de pesquisa (MONTGOMERY; RUNGER, 2021).

Dessa forma, elaborou-se dois planejamentos experimentais distintos (para o sulfato de alumínio e tanino), variando pH, concentração de coagulante e tempo de sedimentação.

Os TS estipulados para ambos os coagulantes foram definidos com base nos estudos de Couto Junior (2011). Para o pH seguiu-se o protocolo de coagulação do sulfato de alumínio por Amirtharajah e Mills (1982) e para o tanino o diagrama de coagulação por Costa (2013).

As CCos do sulfato de alumínio obtiveram-se como base na utilização da empresa e adaptações com estudos da literatura com efluentes provenientes de processos com tintas (têxtil, serigráfico, lavanderia industrial) (RESENDE, 2018; COSTA, 2013; BEZERRA *et al.*, 2017) e para o tanino definiu-se com base nos estudos de Couto Junior (2011), como apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Planejamento experimental do sulfato de alumínio e tanino

Variáveis	Nível (-)	α (-)	Ponto Central	α (+)	Nível (+)
Sulfato de alumínio					
pH	5	6	7	8	9
Concentração de coagulante (mg.L ⁻¹)	750	1250	1750	2250	2750
Tempo de sedimentação (min)	15	25	35	45	55
Tanino					
pH	3	5	7	9	11
Concentração de coagulante (mg.L ⁻¹)	100	200	300	400	500
Tempo de sedimentação (min)	15	25	35	45	55

Fonte: autoria própria (2022)

Conforme Tabela 8, são relacionados os valores máximos, mínimos e centrais para cada parâmetro. Para apresentar as condições estabelecidas para cada ensaio são demonstrados na Tabela 9 os níveis codificados (-1, - α , 0, +1, + α), assim como os descodificados para cada ensaio.

Tabela 9 - Matriz de planejamento composto central do sulfato de alumínio

Ensaio	pH	CCo (mg.L ⁻¹)	TS (min)	pH	CCo (mg.L ⁻¹)	TS (min)
1	-1	-1	-1	6	1250	25
2	-1	-1	-1	6	1250	45
3	-1	+1	+1	6	2250	25
4	-1	+1	+1	6	2250	45
5	+1	-1	-1	8	1250	25
6	+1	-1	-1	8	1250	45
7	+1	+1	+1	8	2250	25
8	+1	+1	+1	8	2250	45
9	0	0	0	7	1750	35
10	0	0	0	7	1750	35
11	0	0	0	7	1750	35
12	0	0	0	7	1750	35
13	-1,414	0	0	5	1750	35
14	+1,414	0	0	9	1750	35
15	0	-1,414	0	7	750	35
16	0	+1,414	0	7	2750	35
17	0	0	-1,414	7	1750	15
18	0	0	+1,414	7	1750	55

Nota: pH= potencial hidrogeniônico; CCo= concentração de coagulante
Fonte: autoria própria (2022)

As condições dos ensaios de 1 a 8, correspondem às variações das 3 variáveis independentes (2^3 : 8), de 9 a 12 aos pontos centrais e de 13 a 18 ao ponto estrela. Essa relação serve para ambas as matrizes de planejamento, assim como a Tabela 10 com os valores descodificados para o tanino.

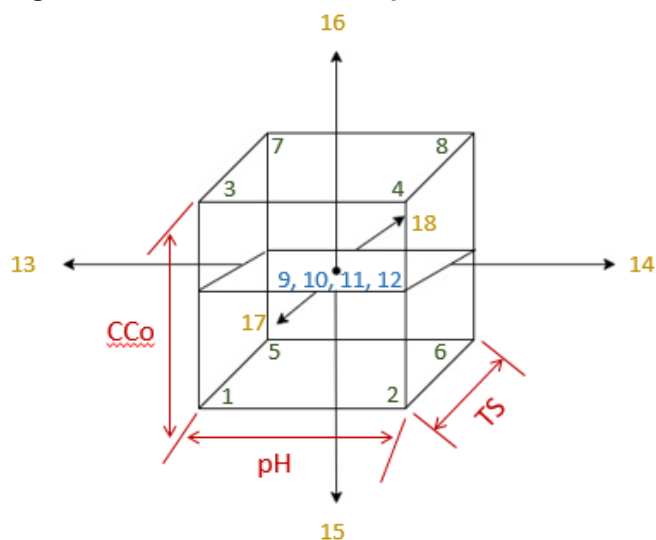
Tabela 10 - Matriz de planejamento composto central do tanino

Ensaio	pH	CCo (mg.L ⁻¹)	TS (min)	pH	CCo (mg.L ⁻¹)	TS (min)
1	-1	-1	-1	5	200	25
2	-1	-1	-1	5	200	45
3	-1	+1	+1	5	400	25
4	-1	+1	+1	5	400	45
5	+1	-1	-1	9	200	25
6	+1	-1	-1	9	200	45
7	+1	+1	+1	9	400	25
8	+1	+1	+1	9	400	45
9	0	0	0	7	300	35
10	0	0	0	7	300	35
11	0	0	0	7	300	35
12	0	0	0	7	300	35
13	-1,414	0	0	3	300	35
14	+1,414	0	0	11	300	35
15	0	-1,414	0	7	100	35
16	0	+1,414	0	7	500	35
17	0	0	-1,414	7	300	15
18	0	0	+1,414	7	300	55

Nota: pH= potencial hidrogeniônico; CCo= concentração de coagulante
 Fonte: autoria própria (2022)

Fez-se também a representação em cubo tridimensional do planejamento experimental para melhor representatividade do modelo, conforme demonstrado na Figura 8:

Figura 8 - Desenho Fatorial Experimental



Fonte: autoria própria (2022)

Os números em verde escuro representam os pontos de um desenho fatorial simples 2^3 , em azul o ponto central em quadruplicata e em amarelo ao ponto estrela, utilizado para ambos os coagulantes.

4.4 Tratamento por coagulação – floculação – sedimentação

Para determinar a eficiência de remoção dos parâmetros estabelecidos, após caracterização do efluente industrial não tratado e com planejamento experimental definido, preparou-se solução de sulfato de alumínio (30 g.L^{-1}) e de tanino (5 g.L^{-1}). Para ajuste de pH, utilizou-se cal virgem em pó (conforme procedimento da indústria) ou solução de H_2SO_4 1%.

Em seguida, iniciou-se os ensaios de coagulação-floculação-sedimentação em *Jar Test* Milan JT – 203, com capacidade para 6 ensaios simultâneos, com jarro de 1 L de efluente cada.

A agitação rápida ocorreu por 5 min e 90 rpm e a agitação lenta por 30 min a 35 rpm (COUTO JUNIOR, 2011). Após tratamento coletou-se cerca de 300 mL do efluente tratado para análises.

4.5 Análise estatística dos dados

Os resultados de eficiência obtidos pelos ensaios no tratamento físico-químico para os dois diferentes coagulantes, foram avaliados separadamente pelo *software R*, para cada parâmetro. Observado o nível de significância de 95% e o teste de normalidade realizado previamente as análises de variância.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância, os gráficos de superfície de resposta e os modelos matemáticos de equações, com modelo simples, linear e quadrático para resultados dos valores do planejamento experimental, considerando todos os resultados (ensaios 1 ao 18) ou somente o 2^3 e o ponto central (ensaios de 1 ao 12). Foram analisadas as equações, resíduos, valores de p e ajuste R^2 dos modelos, sendo os melhores ajustes apresentados nos resultados e discussão e os dados completos são mostrados nos apêndices.

4.6 Reuso

Com os resultados obtidos nas condições ótimas dos tratamentos, foram comparados entre si e com os limites definidos pela ANA (2005) de acordo com a classe a que se enquadra o reuso do efluente tratado e definido assim a porcentagem (proporção de diluição) ou totalidade a ser reutilizada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização físico-química do efluente industrial não tratado

A caracterização do efluente industrial não tratado de impressão flexográfica utilizado no tratamento físico-químico desse estudo, foi realizada seguidamente as seis diferentes coletas e apresentada na Tabela 11.

Tabela 11 - Caracterização das amostras de efluente industrial não tratado

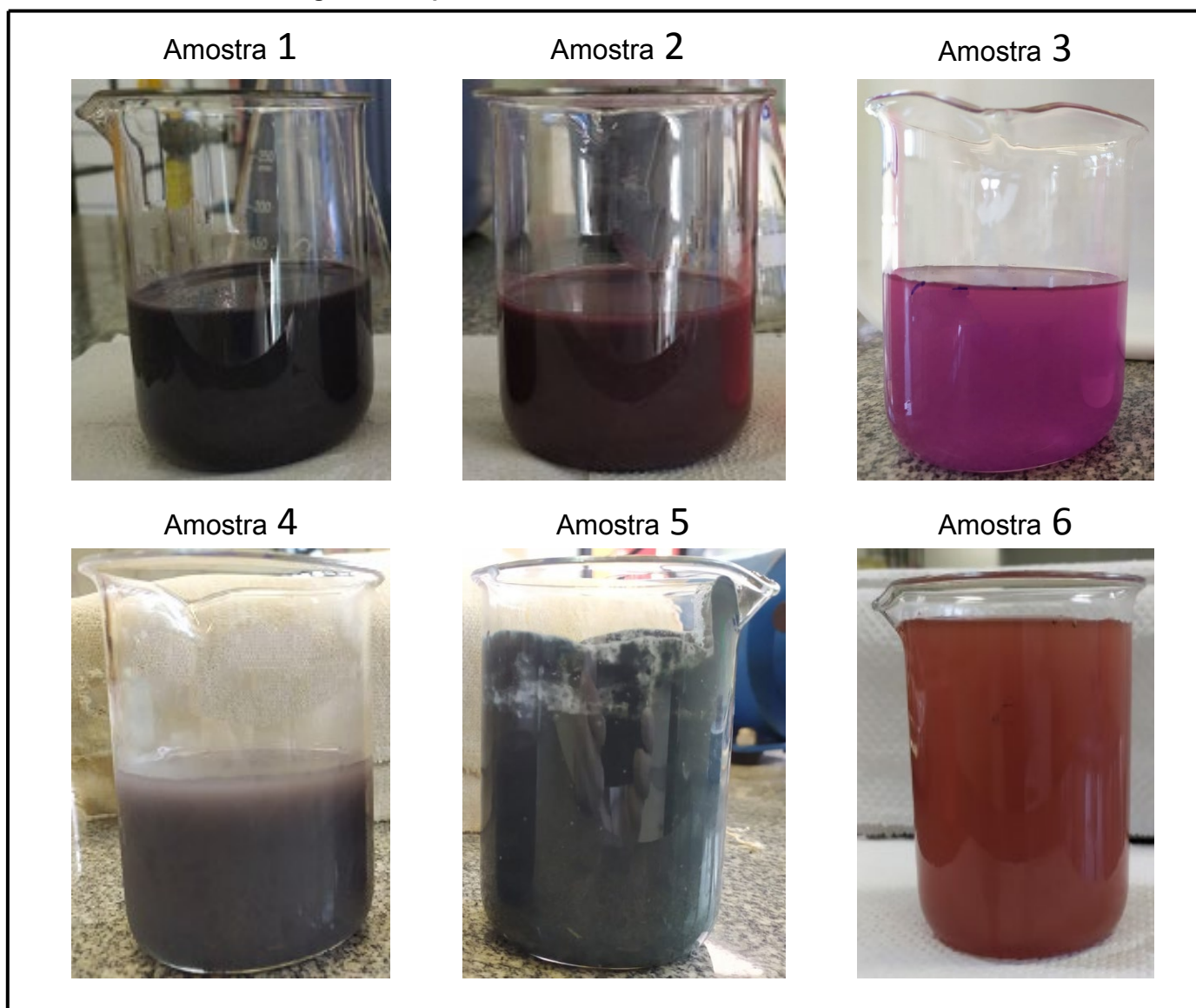
Amostras	pH	DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	COT (mg.L ⁻¹)	AE (UV-Vis 200-800)	Turbidez (UNT)
Amostra 1*	6,75	4236,22 ±39,44	5450,92 ±0,85	240,05 ±1,33	722,67 ±4,87
Amostra 2*	5,92	3882,11 ±12,35	4133,55 ±0,53	456,39 ±1,10	1696,67 ±7,64
Amostra 3	5,89	1530,89 ±14,2	1068,79 ±0,60	227,13 ±1,35	620,67 ±3,71
Amostra 4	7,62	4101,00 ±22,58	3778,96 ±1,56	254,29 ±0,87	6440,00 ±3,61
Amostra 5	5,70	5373,22 ±31,76	11745,50 ±0,07	1239,38 ±1,62	9153,33 ±12,22
Amostra 6	6,69	6053,22 ±40,73	5056,80 ±0,85	668,94 ±1,20	1238,33 ±2,89
Efluentes da Literatura**	6,7 – 9,04	1630 - 9500	547 - 1053	526,75 – 3625,70	410 - 9110

Nota:* As amostras 1 e 2 foram usadas para fins exploratórios na caracterização do estudo do efluente.

****Faixas de valores de caracterização de estudos por: Metes, *et al.* (2004); Ma e Xia (2009): AE medido em comprimento de onda em 630 nm; Diamadopoulos, *et al.* (2009); Klancnick (2014); Fendri *et al.* (2013).**

Fonte: autoria própria (2022)

As variações observadas nos resultados das análises dos parâmetros podem estar associadas ao preparo das tintas utilizadas no processo, já que a indústria atende diferentes produções, feitas em lotes que dependem do pedido e especificações do cliente. Na Figura 9 é mostrada uma foto das amostras coletadas e empregadas nesse trabalho.

Figura 9 - Representação das amostras industriais não tratadas

Fonte: autoria própria (2022)

Na Figura 9 percebe-se a variabilidade dos aspectos entre as amostras. Alguns autores também identificaram amostras de efluentes industriais não tratadas com cores semelhantes, como relatado por Papadopoulos *et al.* (2019) com efluente preto, Fendri *et al.* (2013) efluente cinza escuro e Roussy *et al.* (2005) efluente violeta.

Apesar disso, os valores determinados dos parâmetros para as distintas amostras estão de acordo com o observado por outros autores de indústrias de flexografia na França, China, Grécia e Tunísia, por Metes *et al.* (2004); Ma e Xia (2009); Diamadopoulos *et al.* (2009); Klancnick (2014) e Fendri *et al.* (2013),

confirmando a necessidade de tratamento prévio antes de ser lançado na rede coletora.

Em algumas amostras o pH medido foi ligeiramente ácido em relação à literatura. Os valores de COT acompanharam os resultados da DQO, exceto a amostra 5, no entanto, todos os valores foram superiores ao descrito.

A presença de aditivos, corantes, resinas e outros compostos orgânicos na composição das tintas pode ter contribuído para a elevada presença de carbono orgânico e o fato de nas amostras seus valores serem parecidos com os da DQO, infere que há pouco componente inorgânico nas tintas que contribuiriam com esse último parâmetro. Conforme informações coletadas na indústria desse estudo, somente o pigmento branco (dióxido de titânio) utilizado no preparo das tintas é um pigmento inorgânico e os demais, orgânicos.

Os resultados de AE também apresentaram diferenças em relação à literatura. Roussy *et al.* (2005) analisou amostras de efluente com corante no pico máximo de absorvância em comprimento de onda de 528 nm e Klančnik (2014) com dois efluentes diferentes, um com tinta vermelha com pico máximo de absorção em 569 nm e outro efluente de tinta azul em 629 nm.

Com respeito ao parâmetro turbidez mostrado na Tabela 11, os valores medidos estão de acordo com a literatura Sayin *et al.* (2022), Fendri *et al.* (2013), Diamadopoulos *et al.* (2009).

5.2 Tratamento físico-químico com Sulfato de alumínio

O tratamento físico-químico foi aplicado conforme planejamento experimental utilizando as amostras industriais não tratadas 3 e 4. As condições de maiores eficiências de remoções foram observadas nos tratamentos com pH 7 e 9 conforme apresentado na Tabela 12 os resultados:

Tabela 12 - Eficiências de remoções do tratamento com sulfato de alumínio

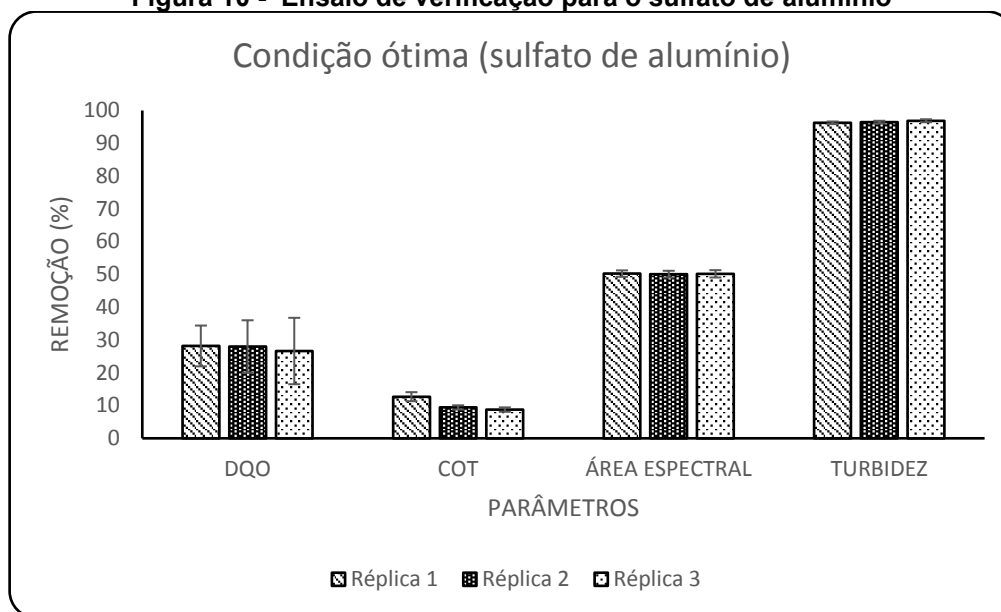
Ensaio	pH	CCo (mg.L ⁻¹)	TS (min)	DQO (%)	COT (%)	AE (%)	Turbidez (%)
1	6	1250	25	0	27	63	95
2	6	1250	45	0	25	67	96
3	6	2250	25	0	27	37	87
4	6	2250	45	0	24	56	88
5	8	1250	25	0	26	47	95
6	8	1250	45	0	27	51	96
7	8	2250	25	8	29	2	94
8	8	2250	45	0	30	3	95
9	7	1750	35	15	14	50	99
10	7	1750	35	15	20	44	100
11	7	1750	35	22	23	41	100
12	7	1750	35	19	16	51	99
13	5	1750	35	21	22	0	100
14	9	1750	35	21	20	34	100
15	7	750	35	0	27	53	95
16	7	2750	35	0	32	0	96
17	7	1750	15	24	14	36	99
18	7	1750	55	9	31	60	96

Nota: pH= potencial hidrogeniônico; CCo= concentração de coagulante;
 TS= tempo de sedimentação; DQO= demanda química de oxigênio;
 COT= carbono orgânico total; AE= área espectral

Fonte: autoria própria (2022)

Por inspeção direta da Tabela 12 se verifica que uma modelagem poderia ser prejudicada, especialmente por problemas na quantificação de DQO removida, que não foi evidenciada para os pHs 6 e 8 e também no ponto estrela nos ensaios 15 e 16.

Apesar disso, buscou-se avaliar se a condição com melhor remoção observada (pH 9, CCo 1750 mg.L⁻¹ e TS 35 min), com remoção de DQO, COT, AE e turbidez de 21%, 20%, 34% e 100% respectivamente, se esse desempenho se repetia com uma nova amostra de efluente industrial. Assim o resultado de um novo ensaio nas condições ótimas, usando a amostra 6 é apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Ensaio de verificação para o sulfato de alumínio

Fonte: autoria própria (2022)

Conforme mostra a Figura 10, as remoções de COT (28%) e turbidez (97%) não atingiram os valores previamente observados na melhor condição do planejamento experimental. As amostras 3 e 4 do efluente industrial não tratado usadas no planejamento experimental e a amostra 6 usada no teste de verificação apresentaram diferenças nos seus aspectos (Figura 9) e características físico químicas (Tabela 11). Isso pode ter contribuído pela diferença no desempenho no tratamento físico químico para o mesmo coagulante.

A remoção média de 28% de DQO nas réplicas da verificação, demonstraram melhor resultado em relação ao estudo de Diamadopoulos (2009) que utilizando sulfato de alumínio (variando de 17 a 345 mg.L⁻¹) alcançou remoção máxima de 15% de DQO. Bezerra (2017) obteve eficiência de remoção de 84% e 89% de DQO e turbidez respectivamente, ao tratar efluente de serigrafia utilizando sulfato de alumínio.

O efluente flexográfico tratado por Ma; Xia (2009) com coagulante inorgânico cloreto de polialumínio (1000 mg.L⁻¹) e com o floculante poliacrilamida (25 mg.L⁻¹), removeu 86% de DQO e 96% de AE, medido por transmitância com comprimento de onda em 630 nm, remoções superiores a esse estudo.

5.3 Tratamento físico-químico com Tanino

Para utilização do tanino, também foram realizados ensaios de acordo com as definições do planejamento experimental, com a amostra industrial não tratada 5. Na Tabela 13 é apresentado o resultado do planejamento experimental.

Tabela 13 - Eficiências de remoções do tratamento com tanino

Ensaio	pH	CCo (mg.L ⁻¹)	TS (min)	DQO (%)	COT (%)	AE (%)	Turbidez (%)
1	5	200	25	0	0	30	95
2	5	200	45	0	0	34	96
3	5	400	25	0	0	42	97
4	5	400	45	4	0	36	97
5	9	200	25	0	0	85	95
6	9	200	45	1	0	86	95
7	9	400	25	0	0	87	95
8	9	400	45	37	18	92	99
9	7	300	35	32	13	85	96
10	7	300	35	28	14	87	95
11	7	300	35	25	13	93	98
12	7	300	35	17	15	84	96
13	3	300	35	25	19	46	96
14	11	300	35	20	12	84	96
15	7	100	35	16	22	91	90
16	7	500	35	11	7	84	92
17	7	300	15	3	14	84	94
18	7	300	55	23	21	91	92

Nota: pH= potencial hidrogeniônico; CCo= concentração de coagulante;
 TS= tempo de sedimentação; DQO= demanda química de oxigênio;
 COT= carbono orgânico total; AE= área espectral

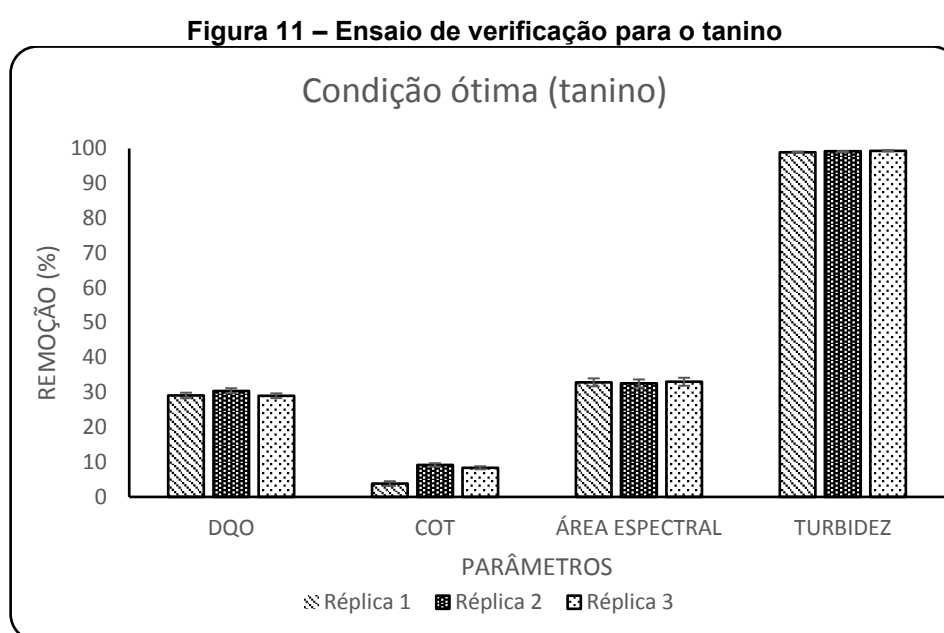
Fonte: autoria própria (2022)

Sendo assim, por inspeção dos resultados da Tabela 13, verifica-se que as maiores remoções obtidas foram no ensaio 8 em pH 9, CCo 400 mg.L⁻¹ e TS 45 min, alcançando remoções de DQO, COT, AE e turbidez de 37%, 18%, 92% e 99% respectivamente.

Assim como ocorreu nos ensaios com o sulfato de alumínio, não verificou-se remoção da DQO em pH 5, o que se repetiu para o COT. Como houve remoção dos

parâmetros estudados nos pHs extremos se previu que haveria certa dificuldade de modelagem.

Um ensaio de verificação nessa condição ótima foi realizado com o efluente industrial não tratado (amostra 6). Essa amostra foi bastante diferente da amostra 5 utilizada no planejamento experimental, tanto referente ao aspecto (Figura 9) quanto na caracterização físico-química (Tabela 11). Isso foi especialmente observado quanto á COT e a turbidez dessas amostras. Os resultados estão apresentados na Figura 11.



Fonte: autoria própria (2022)

Na Figura 11 se observa que ocorreu redução na remoção dos parâmetros DQO, COT e AE da verificação comparados ao observado na melhor condição do planejamento experimental. As baixas remoções de DQO e COT podem estar relacionadas a presença desses parâmetros associada a parte solúvel da amostra e o tratamento físico-químico é mais eficiente para remoção de material coloidal ou particulado presente na mesma (GROTZNER, 2017; CHAGAS, 2009).

A maior redução de remoção ocorreu na AE, que também pode ser relacionada as diferenças nos seus aspectos (Figura 9) e características físico-químicas (Tabela 11). Apesar da expectativa de remoção de 92%, segundo a condição de tratamento no planejamento experimental, as réplicas realizadas com nova amostra de efluente industrial não tratado não apresentaram o desempenho esperado.

A remoção de 30% de DQO se mostrou inferior ao estudo de Couto Júnior (2011), com efluente oriundo de tingimento, utilizando a CCo de tanino (400 mg.L⁻¹), obteve remoções de 94% nesse parâmetro. Para as mesmas condições o autor removeu turbidez em 99%, a qual foi similar ao ensaio de verificação deste estudo. Em um trabalho mais recente, Aboulhassan *et al.* (2016) também com 400 mg.L⁻¹ de tanino removeu 87% de DQO de efluente de tintas de impressão, que foi superior ao obtido nesse estudo, enquanto turbidez mais uma vez mostrou similaridade com resultados da literatura.

5.4 Coeficiente de variação dos experimentos

A fim de conhecer a precisão dos ensaios realizados com os dois coagulantes foram calculados os coeficientes de variação (CV) para o ponto central (nas 4 réplicas) de cada desenho experimental, assim como para as 3 réplicas dos ensaios de verificação, considerando as réplicas aplicadas. Estes resultados são apresentados na Tabela 14:

Tabela 14 - Coeficientes de variação dos experimentos

Coeficiente de variação (%)			
Coagulante	Parâmetro	Ponto central	Réplicas
Sulfato de alumínio	DQO	4,21	1,17
	COT	4,70	2,37
	AE	8,49	0,16
	Turbidez	10,68	3,06
Tanino	DQO	8,46	1,12
	COT	1,21	3,09
	AE	4,90	0,36
	Turbidez	1,32	1,39

Nota: DQO= demanda química de oxigênio; COT= carbono orgânico total; AE=área espectral

Fonte: autoria própria (2022)

Conforme mostrado na Tabela 14, percebe-se os resultados do ponto central do planejamento com o sulfato de alumínio foram os que apresentaram maiores valores de CV, demonstrando maior heterogeneidade dos dados em relação a média

obtida, especialmente para AE e turbidez. No caso do ponto central do desenho experimental do tanino, a DQO foi a que teve o maior CV.

Nos ensaios de verificação para ambos coagulantes e em todos os parâmetros foram obtidos valores dentro do estimado de CV menor que 5%, que demonstra boa precisão entre os experimentos. Porém considerando que as amostras utilizadas são reais e complexas é possível considerar CVs maiores, de até 10%.

5.5 Análise estatística para ensaios de verificação do método

Com base nos resultados de remoções obtidos nos tratamentos de coagulação-floculação-sedimentação para cada coagulante apresentado nas Tabelas 12 e 13, foi realizado a análise estatística utilizando *Software R*, representando o desempenho de cada parâmetro, como modelo simples, linear e quadrático para o planejamento experimental fatorial tipo estrela ou 2^3 e o ponto central, apresentados nos Apêndices.

A seguir, o melhor modelo para os distintos parâmetros considerando o conjunto completo de ensaios (planejamento experimental fatorial tipo estrela) e somente o fatorial 2^3 e ponto central, no tempo de 35 min para o sulfato de alumínio estão apresentados na Tabela 15:

Tabela 15 - Tabela de dados estatísticos do sulfato de alumínio

Parâmetro	Modelo	R ²	p	Modelo	R ²	p
Planejamento experimental fatorial estrela				Planejamento 2³ e ponto central		
DQO	simples	-0,1389	0,8185	simples	-0,3378	0,9722
COT	quadrático	0,0462	0,4727	simples	-0,3134	0,9426
AE	simples	0,3519	0,0282	linear	0,9065	0,0080
Turbidez	simples	-0,0679	0,6020	simples	0,0967	0,3138

Nota: valor em vermelho apresenta diferença significativa.

Fonte: autoria própria (2022)

De acordo com a Tabela 15, o maior valor de R² foi 0,3519 e valor de p 0,0282, em modelo simples no planejamento experimental fatorial estrela, para a AE, o que ainda foi muito baixo e demonstra pouco ajuste ao modelo proposto. No planejamento

2^3 com o ponto central, o R^2 de 0,9065 com valor de p 0,0080 para AE, que foi o único parâmetro com ajuste ao modelo linear, cuja equação (1) seria:

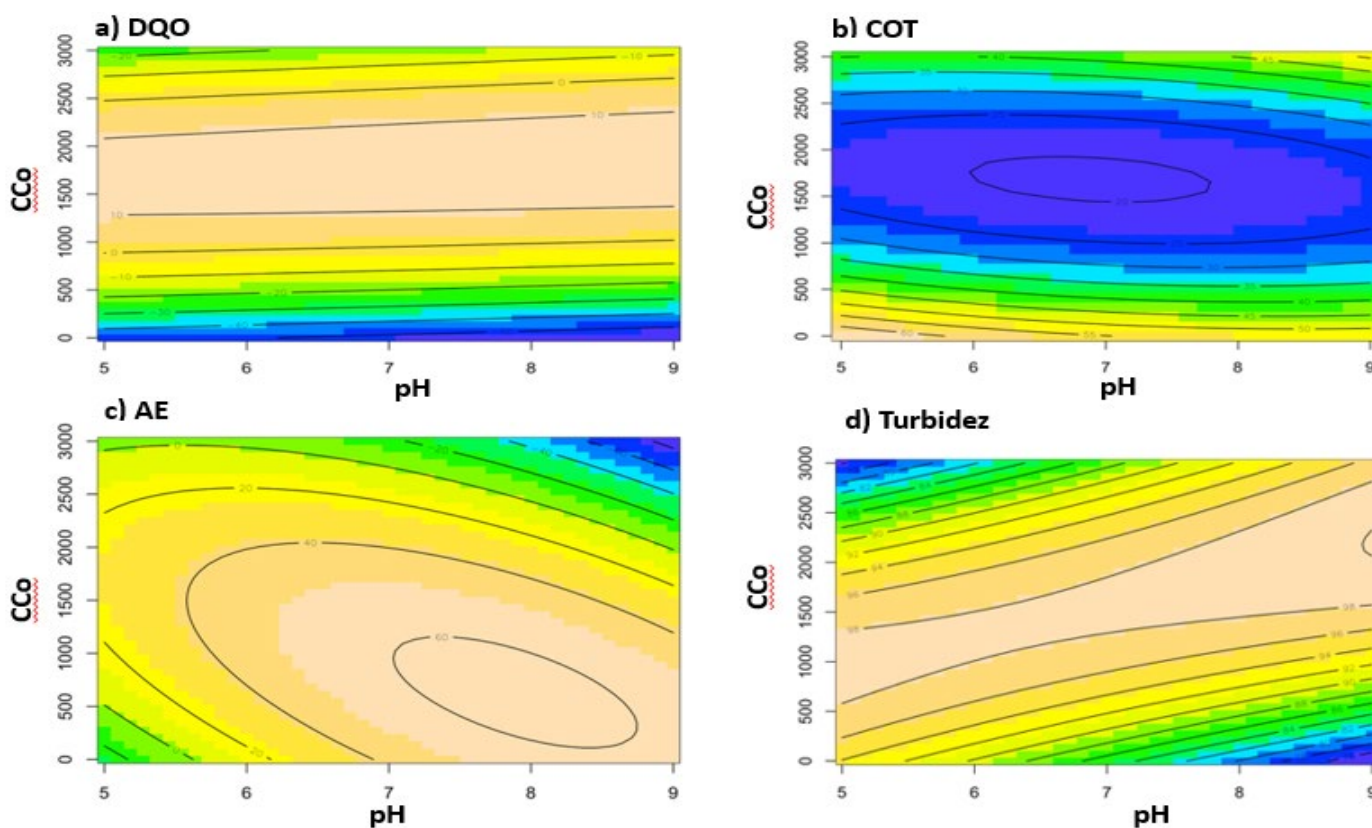
$$\text{AE: intercept} + B1X1 + B2X2 + B3X3 + B4X1X2 + B5X1X3 + B6X2X3 + B7X1X2X3 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \% \text{ ER de AE: } & 1,62 \times 10^{+2} + (-7,88) * 9 + (-4,56 \times 10^{-2}) * 1750 + (-3,67) * 35 + (2,87 \times 10^{-4}) \\ & * 9 * 1750 + (4,94 \times 10^{-1}) * 9 * 35 + (3,18 \times 10^{-3}) * 1750 * 35 + (-4,075 \times 10^{-4}) * 9 * 1750 * \\ & 35 \end{aligned}$$

O resultados teórico conforme equação foi de 13%, contudo com o experimento feito com as condições de pH 9, CCo 1750 mg.L⁻¹ rendeu eficiência de remoção desse parâmetro de 50% para o sulfato de alumínio.

Na Figura 12, são apresentados os gráficos de superfície de resposta definidos para cada parâmetro no modelo 2^3 com ponto central, que apresentou maior ajuste de AE, com TS de 35 min fixado:

Figura 12 - Gráficos de superfície de resposta do sulfato de alumínio



Nota: Região de maior remoção
 Região de menor remoção

Fonte: autoria própria (2022)

Conforme apresentado na Figura 12 c, a região de maior remoção apresentada para AE, encontra-se entre o pH 9 e concentração de até aproximadamente 2000 mg.L⁻¹. Entretanto com os resultados apresentados, não foi possível gerar um modelo preditivo, pois somente a remoção de AE apresentou efeito significativo entre os fatores avaliados, tanto no modelo completo ou parcial.

Nas análises da utilização do tanino, também foi verificado o melhor modelo para os distintos parâmetros, considerando o conjunto completo de ensaios (planejamento experimental fatorial tipo estrela) e o fatorial 2³ e ponto central, no tempo de 45 min, apresentados na Tabela 16:

Tabela 16 - Tabela de dados estatísticos do tanino

Parâmetro	Modelo	R ²	p	Modelo	R ²	p
Planejamento experimental fatorial estrela				Planejamento 2 ³ e ponto central		
DQO	simples	0,0048	0,4103	simples	-0,0499	0,5158
COT	simples	-0,1389	0,8185	simples	-0,1026	0,5999
AE	simples	0,4560	0,0088	simples	0,6500	0,0092
Turbidez	quadrático	0,1944	0,3331	simples	0,2710	0,1471

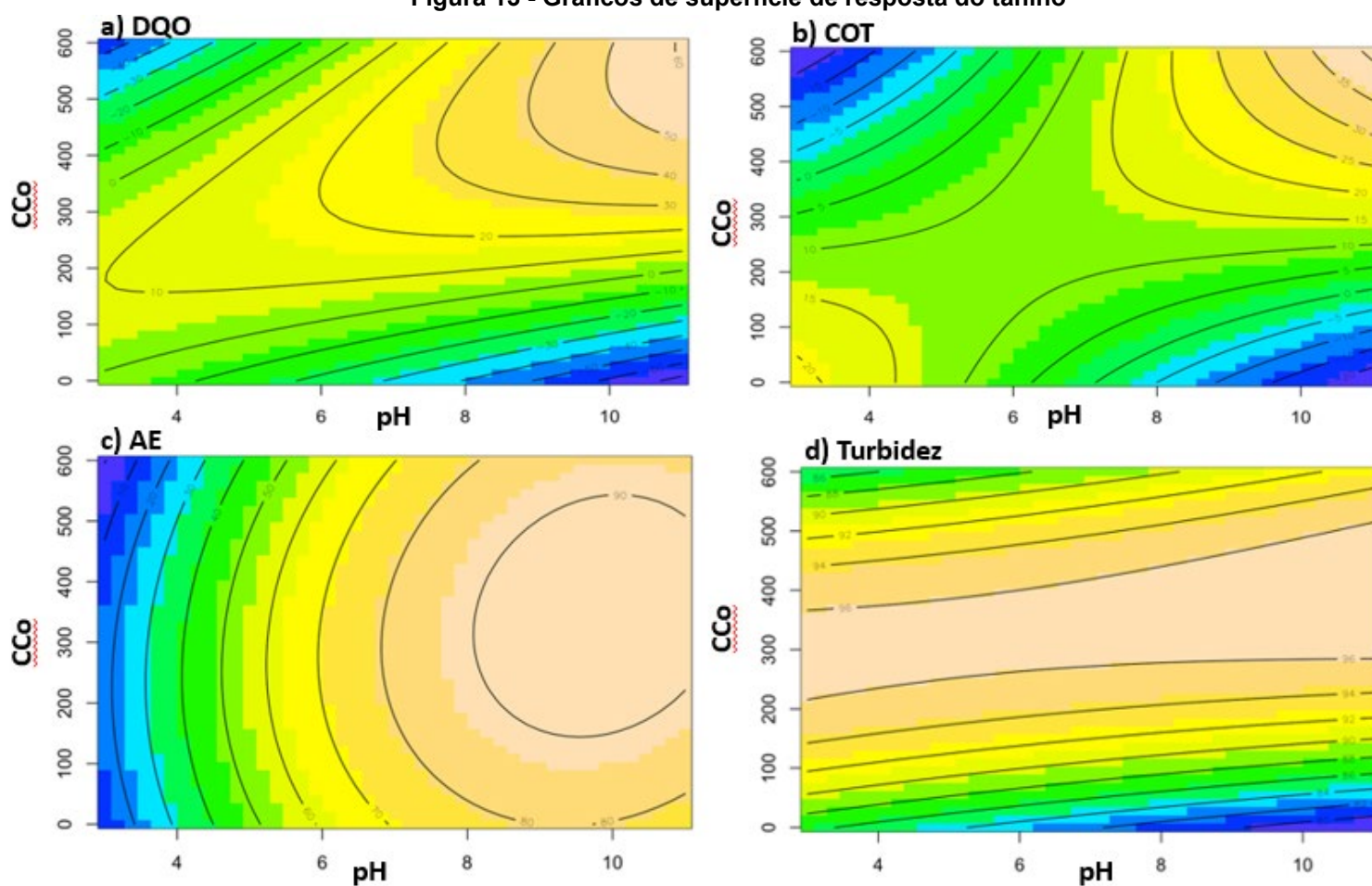
Nota: valor em vermelho apresenta diferença significativa.



Fonte: autoria própria (2022)

Conforme Tabela 16, o maior valor de R² foi de 0,4560 e valor de p 0,0088 em modelo simples para AE no planejamento experimental fatorial estrela. No planejamento 2³ com ponto central, o maior valor de R² foi de 0,6500 com valor de p 0,0092 para AE, valores muito baixos para demonstrar ajuste ao modelo proposto. Sendo assim, para o tanino, também não foi possível gerar um modelo preditivo, pois somente a remoção de AE teve efeito significativo apesar de R² muito baixo, entre os fatores avaliados.

Na Figura 13, são apresentados os gráficos de superfície de resposta definidos para cada parâmetro no modelo 2³ com ponto central, com TS de 45 min fixado:

Figura 13 - Gráficos de superfície de resposta do tanino



Nota:  Região de maior remoção
 Região de menor remoção

Fonte: autoria própria (2022)

Como mostra a Figura 13 c, para o parâmetro AE a região de maior remoção encontra-se entre pH 8 e 10, e CCo entre 100 e 600 mg.L⁻¹, onde a melhor remoção para esse coagulante foi apresentada.

Conforme os resultados, houve dificuldade de obter um modelo preditivo para ambos coagulantes, assim como a possibilidade de fazer uma validação do método, uma vez que os resíduos apresentam tendências e os ajustes não são adequados, apresentando valores de R² muito baixos, como pode ser observado nos Apêndices C e D. Também para fins didáticos estão representados no Apêndice E os gráficos de remoções de AE para ambos os tratamentos no teste de verificação.

5.6 Tratamento da indústria *versus* tratamentos propostos

A fim de comparar a proposta de tratamento deste estudo com o tratamento realizado na indústria atualmente, foram efetuadas três diferentes coletas do efluente tratado pela indústria e analisados no laboratório. Entretanto os valores não serão divulgados, pois a indústria e a UTFPR possuem um acordo de cooperação técnica que inclui questões de confidencialidade, somente serão apresentadas as eficiências de remoções obtidas no tratamento, de acordo com Tabela 17:

Tabela 17 – Eficiência do tratamento na indústria

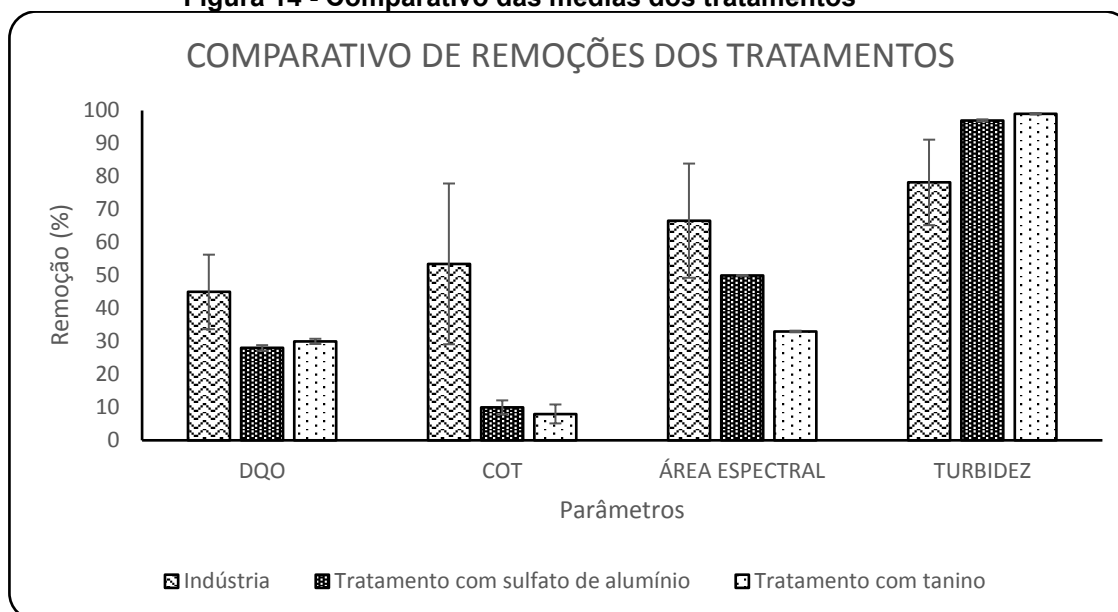
Amostras	DQO	COT	Área espectral	Turbidez
Amostra A (%)	50,60	26,40	47,10	92,90
Amostra B (%)	32,00	60,50	81,40	73,30
Amostra C (%)	52,40	73,60	68,30	68,40
Média remoções				
tratamento industrial (%)	45,00 ±11,29	53,50 ±24,37	65,60 ±17,31	78,20 ±12,96

Fonte: autoria própria (2022)

De acordo com informação apresentada na Tabela 17 o tratamento realizado pela indústria usando sulfato de alumínio, além de um floculante aniônico, apresenta variabilidade significativa no desempenho de remoção entre as diferentes amostras, devido a grande variabilidade do efluente industrial não tratado.

As remoções dos tratamentos realizados pela indústria (analisado em laboratório) foram comparadas com os resultados obtidos na verificação desse estudo, como apresenta a Figura 14:

Figura 14 - Comparativo das médias dos tratamentos



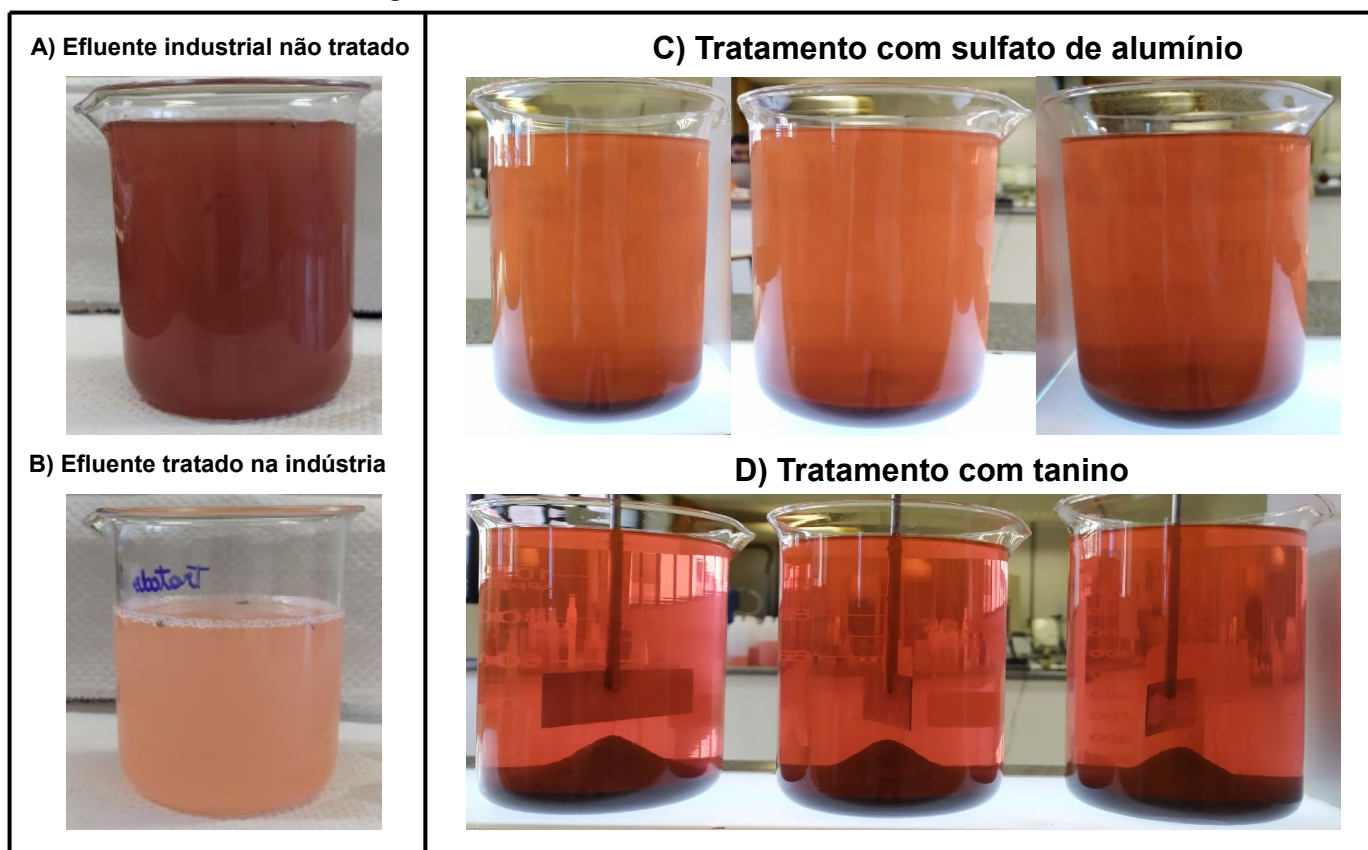
Conforme mostra a Figura 14, comparando somente o tratamento em laboratório, o desempenho do sulfato de alumínio foi melhor que o do tanino para todos os parâmetros exceto para DQO, mas nesse caso sem diferença significativa. O tratamento da indústria apresentou maior eficiência de remoção nos parâmetros de DQO, COT e AE e somente foi menor na remoção de turbidez, em relação aos tratamentos desse estudo.

Dessa forma, o tratamento proposto empregando o sulfato de alumínio (pH 9, CCo 1750 mg.L⁻¹ e TS 35 min) ou com tanino (pH 9, CCo 400 mg.L⁻¹ e TS 45 min) nas melhores condições de tratabilidade, não superaram o tratamento industrial com sulfato de alumínio (pH 9,5, CCo 1500 mg.L⁻¹ e TS 120 min) e floculante (3 mg.L⁻¹). Possivelmente o floculante desempenha um papel fundamental no perfil de remoção no tratamento industrial, mesmo frente a variações no perfil ou na qualidade do efluente industrial não tratado.

Além disso, o TS da indústria é muito ao empregado nesse trabalho, o qual foi baseado nas condições típicas de TS de outros trabalhos da literatura. (COUTO JUNIOR, 2011; ABOULHASSAN et al., 2016; COSTA, 2013).

A seguir na Figura 15, são apresentados todos os efluentes desse comparativo:

Figura 15 - Amostras de efluente e seus tratamentos



Fonte: autoria própria (2022)

A Figura 15 apresenta as fotos a) amostra 6 do efluente industrial não tratado, b) resultado do efluente tratado na indústria, c) réplicas do efluente tratado com sulfato de alumínio e d) réplicas do efluente tratado com tanino.

Em ambos tratamentos propostos e o da indústria, percebe-se que não foi eficiente na remoção total de pigmento, havendo residual no efluente tratado. Entretanto o tratamento da indústria apresenta cor menos intensa.

5.7 Proposta de reuso

Com os resultados obtidos no tratamento do efluente industrial com o sulfato de alumínio apresentando residual médio de DQO $4382,11 \text{ mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$ e turbidez de $42,9 \text{ UNT}$ e com o tanino $4265,10 \text{ mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$ de DQO e $10,3 \text{ UNT}$ de turbidez, sabe-se que ambos não atendem aos critérios da companhia de saneamento local para lançamento na rede, que limita carga de $2000 \text{ mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$ de DQO, limite informado via comunicação pessoal.

Entretanto para o reuso desse efluente, não existe regulamentação específica em relação a qualidade da água residuária tratada para seus processos industriais. Porém o Manual de Conservação e reuso de águas (ANA, 2005), estabelece que para o efluente tratado ser utilizado em contato direto ao usuário, o pH esteja entre 6 e 9 e turbidez menor que 2 UNT.

Diante dos resultados aqui apresentados, não é possível aceitar a hipótese de que os efluentes de flexografia podem ser tratados com coagulantes orgânicos com rendimento equivalente ao do processo industrial.

Contudo, o efluente tratado na indústria ou no laboratório (com sulfato de alumínio ou tanino), apresenta condições de reuso parcial no processo de lavagem dos cilindros. Sendo o melhor resultado apresentado pelo tanino com pH final de 8,7 e turbidez média de 10,3 UNT. Utilizando diluição do efluente em 10% de água limpa, reduzindo o nível de turbidez.

O produto dessa diluição poderia ser usado no processo de pré-lavagem dos cilindros e tinteiros, e considerando os custos de água de captação R\$ 1881,00 para 36 m³ mensais e de tratamento R\$ 1598,00, poderia gerar economia de aproximadamente R\$ 5000,00/ ano.

6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados das análises realizadas nas diferentes coletas do efluente bruto industrial, pode-se concluir que o perfil do efluente proveniente de impressão flexográfica apresenta grande variabilidade dos parâmetros físico-químicos, além de possuir alta carga orgânica e elevada turbidez. Desta forma, o tratamento realizado pela indústria apresentou média de remoção de DQO, COT, AE e turbidez 45%, 53,5%, 65,6% e 78,2% respectivamente, sendo essas remoções determinadas no laboratório neste trabalho.

O tratamento de coagulação-floculação-sedimentação utilizando sulfato de alumínio teve o melhor desempenho em pH 9, CCo 1750 mg.L⁻¹ e TS 35 min, com eficiência máxima de remoção de DQO, COT, AE e turbidez de 21%, 20%, 34% e 100% respectivamente.

No uso do tanino, como alternativa de coagulante orgânico para o tratamento físico-químico obteve-se condição ótima de tratamento em pH 9, CCo 400 mg.L⁻¹ e TS 45 min, que rendeu maiores remoções para DQO, COT, AE de 37% 18%, 92% respectivamente. Com a turbidez sendo removida em torno de 99%.

No processo de verificação dos tratamentos nas condições ótimas com nova amostra de efluente industrial não tratado os resultados foram distintos dos determinados previamente no planejamento experimental. A variabilidade das amostras impactaram nos resultados dos tratamentos com ambos os coagulantes.

Mantendo o tratamento industrial ou usando como alternativa os realizados neste estudo, se propõe um reuso parcial do efluente tratado de 10%, atendendo as condições da Agência Nacional das Águas e possibilitando economia de aproximadamente R\$ 5000,00/ano entre a captação e o tratamento da água industrial, podendo esta custear as modificações do processo e promover um retorno dos investimentos.

REFERÊNCIAS

ABIGRAF. **BALANÇA COMERCIAL DA INDÚSTRIA GRÁFICA Balança Comercial do setor gráfico apresenta superávit no quarto trimestre de 2021**. Disponível em: <http://www.abigraf.org.br/wp-content/uploads/2022/04/Balanca-Comercial-Ind.-Grafica-4T-2021.pdf>.

ABOULHASSAN, M.A, *et al.* Coagulation efficacy of a tannin coagulation agent to metal salts for paint manufacturing wastewater treatment. **Desalination and Water Treatment**. p.1 - 7, 2016.

ABTG. **MANUAL DE IMPRESSÃO FLEXOGRÁFICA**. 2008. Disponível em: <https://docplayer.com.br/8564566-Manual-de-impressao-flexografica.html>. Acesso em: 16 jul. 2022.

AMIRTHARAJAH, A.; MILLS, K. M. Rapid-mix design for mechanisms of alum coagulation. **Journal - American Water Works Association**. v. 74, n. 4, p. 210–216, 1982.

ANA, Agência Nacional de Águas. **Conservação e reuso da água em edificações**. 2005.

ANA, Agência Nacional de Águas. **Conjuntura de recursos hídricos no Brasil**. 2021.

ANG, T. H. *et al.* Insight on Extraction and Characterisation of Biopolymers as the Green Coagulants for Microalgae Harvesting. **Water**, v. 12, n. 5, p. 1388, 2020.

APA, Agência Portuguesa do Ambiente. **GUIA PARA A REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA USOS NÃO POTÁVEIS**. 2019. Disponível em: https://apambiente.pt/sites/default/files/_Agua/DRH/Licenciamento/ApR/APA_Guia_Reutilizacao_v1.pdf. Acesso em: 14 set. 2021.

APHA. American Public Health Association in **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington: American Public Health Association, 2018.

AQUINO, J. M *et al.* High efficiencies in the electrochemical oxidation of an anthraquinonic dye with conductive-diamond anodes. **Environmental Science Pollution Research**. p. 8442-8450, 2014.

ARAUJO, M. L. Os desafios contemporâneos da indústria gráfica: um estudo bibliográfico. **Anais do XIV Colóquio Internacional “Educação e Contemporaneidade” (EDUCON)**, v. xiv, n. 1982-3657, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO/IEC 9898 – Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. 22p.

BAER, A. **O que é flexografia?** 2021. Disponível em: <https://www.projetopack.com.br/o-que-e-flexografia/>. Acesso em: 6 jul. 2022.

BARRIOS, S. **Manual descomplicado de tecnologia de tintas**: um guia rápido e prático para formulação de tintas e emulsões. Blucher, 2017.

BEZERRA, A. R. *et al.* II-576 - Tratamento de efluente industrial para serigrafia de pequeno porte. **Congresso ABES Fenasan 2017**.

BRASIL. **Lei n. 9433, de 8 de Janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília: Casa Civil, 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em 3 ago. 2022.

CADA DOS QUÍMICOS. **SULFATO DE ALUMÍNIO**. Disponível em: https://www.casadosquimicos.com.br/materia-prima/sulfato-de-aluminio-25-kg?parceiro=7072&srsItid=Ad5pg_Eg_akbbP2H-76TNFzZJKNEP3BU6wUcLEyK6Mcn3uxGdRle6PSB9PY. Acesso em: 30 jan 2023.

CEREGATO, L. **Números da Indústria Gráfica Brasileira**. 2021. Disponível em: [https://www.taiwanservices.com.tw/oppFile/Ind%C3%BAstria%20Gr%C3%A1fica%20Brasileira%20Mar%C3%A7o-21\(9\).pdf.pdf](https://www.taiwanservices.com.tw/oppFile/Ind%C3%BAstria%20Gr%C3%A1fica%20Brasileira%20Mar%C3%A7o-21(9).pdf.pdf). Acesso em: 3 mai 2022.

CETESB, Companhia ambiental do estado de São Paulo. Guia técnico ambiental da indústria gráfica. São Paulo: CETESB: SINDGRAF, 2003.

CETESB, Companhia ambiental do estado de São Paulo. Guia técnico ambiental da indústria gráfica. 2.ed. São Paulo: CETESB: SINDGRAF, 2009.

CETESB, Companhia ambiental do estado de São Paulo. **Fundamentos do controle de poluição das águas**. 2018.

CHAGAS, M. A. **Tratamento de efluente têxtil por processos físico-químicos e biológico**. 2009. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

COSTA, H. T. **Revista Abigraf 291 by Abigraf – Issuu**. 2017. Disponível em: https://issuu.com/abigraf/docs/revista_abigraf_291. Acesso em: 3 mai 2022.

COSTA, T. F.R. **Investigação de diagramas de coagulação utilizando coagulantes e auxiliares de coagulação de fontes renováveis**. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, p.110, 2013.

COUTO JUNIOR, O. M. *et al.* Caracterização e Otimização do Tratamento de Efluente Têxtil por Coagulação-Floculação Utilizando Coagulante Natural Tanino. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 14, n. 1, p. 79–90, 2011.

CREA-PR. Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná. **Uso e reuso da água**. Curitiba - PR: 2020.

CREATIVE. **Sistemas de Impressão**: 2017. Disponível em: <https://blog.creativecopias.com.br/sistemas-de-impressao-flexografia/>. Acesso em: 15 mai 2022.

DHIMNI, S. *et al.* Caractérisation des Rejets liquides d'une industrie d'emballage em carton. **Journal of Materials and Environmental Science**, v.6, p.3497-3206, 2015.

DIAMADOPOULOS, E. *et al.* Treatment of ink effluents from flexographic printing by lime precipitation and boron-doped diamond (BBD) electrochemical oxidation. **Water Science & Technology**. v. 60, n. 10, 2009.

EMAMJOMEH, M. *et al.* The treatment of printing and packaging wastewater by electrocoagulation-flocculation: the simultaneous efficacy of critical parameters and economics. **Desalination and Water Treatment**. v. 205, p. 161-174, 2020.

ESKO. **Embalagem flexível e impressão de embalagens - Esko**. Disponível em: <https://www.esko.com/pt/solutions/digital-flexo/flexible-packaging>. Acesso em: 3 jul. 2022.

FAZENDA, J. M. R. **Tintas Ciência E Tecnologia**. Blucher, 2009.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. FIESP - Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. **Conservação e Reuso de Água: manual de orientação para o setor industrial 2004**. São Paulo: 2004. v.1 *E-book*.

FENDRI, I. *et al.* Optimization of coagulation-flocculation process for printing ink industrial wastewater treatment using response surface methodology. **African Journal of Biotechnology**. v. 12, p. 4819-4826, 2013.

FURLAN, F. R. Avaliação da eficiência do processo de coagulação-floculação e adsorção no tratamento de efluentes têxteis. 2008.

GROTZNER, M. B. **Tratamentos de efluente de processo de polpa quimiotermomecânica CTMP**. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

GERHARDT, C. M. **Uma alternativa de substituição ao sulfato de alumínio no tratamento de água potável**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2018.

HUANG, X. *et al.* Effects of compound bioflocculant on coagulation performance and floc properties for dye removal. **Bioresource Technology**. v. 165, p. 116–121, 2014.

IDEAL AMBIENTAL. **Crise Hídrica no Estado do Paraná: Seria Essa a Pior Seca da História?**. 2021. Disponível em: <https://www.idealambiental.com.br/crise-hidrica-no-estado-do-parana/>. Acesso em: 6 ago. 2022.

KIURSKI, J. S. *et al.* Register of hazardous materials in printing industry as a tool for sustainable development management. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 16, n. 1, p. 660–667, 2012.

KLANCNIK, M. Coagulation and adsorption treatment of printing ink wastewater. **Acta gráfica**. v.25, n. 3-4, p. 73-82, 2014.

LIMA JÚNIOR, R. N.; ABREU, F. O. M. S. Produtos naturais utilizados como coagulantes e floculantes para tratamento de águas: uma revisão sobre benefícios e potencialidades. **Revista Virtual Química**. v.10. 2018.

MA, X. J.; XIA, H. L. Treatment of water-based printing ink wastewater by Fenton process combined with coagulation. **Journal of Hazardous Materials**. v. 162, n. 1, p. 386–390, 2009.

MA, X. J.; XIA, H. L. Optimization of coagulation process for treatment of water-based printing ink wastewater. In: **2010 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering**. IEEE, p. 1-4.

MANGRICH, A. S. *et al.* Green Chemistry in Water Treatment: Use of Coagulant Derived from *Acacia mearnsii* Tannin Extracts. **Revista Virtual de Química**. v. 6, n. 1, 2014.

MARCHETTI, T. Tratamento de efluente líquido da indústria de cosméticos com sulfato de alumínio e biopolímero. **Revista da Graduação**. v. 7, n. 1, 2014.

MARQUES, M. P., *et al.* Avaliação da eficiência do tratamento do efluente de uma estamperia por coagulação química. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**. v.XX. n.10, 2017.

MARTINS, A. A. *et al.* Potencial de uso de compostos orgânicos como, coagulantes, floculantes e adsorventes no tratamento de água e efluentes. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**. v. 10, n. 12, 2014.

METCALF; EDDY. **Tratamento de efluente e recuperação de recursos**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

METES, A. *et al.* The role of zeolites in wastewater treatment of printing inks. **Water Research**. v. 38, p. 3378-3381, 2004.

MIDGLEY, S.J.;TURNBULL, J.W. Domestication and use of Australian acacias: case studies of five important species. **Australian Systematic Botany**, v.16, p. 89-102, 2003.

MONACO, P. A. V. L, *et al.* Use of extract of moringa seeds as coagulant agent in treatment of water supply and wastewater. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**. v. 5, n. 3, p. 222 - 231, 2010.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

MOURA, P.G. *et al.* Água de reuso: uma alternativa sustentável para o Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.25, n.6, 2020.

NIMESHA *et al.* Effectiveness of natural coagulants in water and wastewater treatment. **Global Journal of Environmental Science and Management**. v. 8, 2022.

NNAMDI, A. **Embalagens Flexíveis**. Blucher, 2010. p. 154.

NUNES, J.A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 6 revisada, ampliada e atualizada. Aracaju: Editora J. Andrade, 2012. p. 315

ÖZACAR, M.; ŞENGİL, İ. A. Evaluation of tannin biopolymer as a coagulant aid for coagulation of colloidal particles. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**. v. 229, n. 1-3, p. 85–96, 2003.

PAPADOPOULOS, K. P. *et al.* Treatment of printing ink wastewater using electrocoagulation. **Journal of Environmental Management**. v.237, p. 442-448, 2019.

PAVITHRA, K. G. *et al.* Removal of colorants from wastewater: A review on sources and treatment strategies. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 75, p. 1–19, 2019.

PORTO, A. E. B.; SCHOENHALS, M. Tratamento de efluentes, reuso de água e legislação aplicada em lavanderia têxtil industrial. **Engenharia Ambiental**. v.10, n.2, p.68-80, 2013.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. 2009.

RAMOS, J. M. P., *et al.* Printing ink effluent remediation: A comparison between electrochemical and Fenton treatments. **Journal of Water Process Engineering**, v. 31, p. 100803, 2019.

RESENDE, M. Á. **Uso do tanino associado ao sulfato de alumínio como coagulantes para o tratamento de efluente de lavanderia industrial**. TCC. 2018.

ROSALINO, M. R. R. **Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano**. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

ROUSSY, J. *et al.* Treatment of ink-containing wastewater by coagulation/flocculation using biopolymers. **Water SA**. v. 31, n. 3, p. 369-376, 2005.

SALEEM, M.; BACHMANN, R. T. A contemporary review on plant-based coagulants for applications in water treatment. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 72, p. 281–297, 2019.

SALVADOR, T. *et al.* Degradação de corantes têxteis e remediação de resíduos de tingimento por processos fenton, foto-fenton e eletro-fenton. **Química Nova**. Vol. 35, p. 932-938, 2012.

SAYIN, F. E. *et al.* Treatment of real printing and packaging wastewater by combination of coagulation with Fenton and photo-Fenton process. **Chemosphere**. v.306, 2022.

SCARPETA, E. **Flexografia**: manual prático. São Paulo: Bloco de Comunicação Ltda, 2007.

SILVA, C. A. *et al.* Classificação dos lodos formados durante o processo de

coagulação/floculação da água com os coagulantes PAC e *Moringa oleifera*. **Engevista**, v. 14, n. 3, 2012.

SILVA, L. C. A., *et al.* Práticas de sustentabilidade ambiental em indústrias gráficas. **Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios**, v. 14, n. 1, p. 3, 2021.

SINGRAF RN, CHRONA. **Chroma Ed. 20 by SINGRAF RN - Issuu**. 2019. Disponível em: https://issuu.com/singrafrgn/docs/chroma_ed_20_. Acesso em: 10 jul. 2022.

SOUZA; A. P. C. *et al.* Análise de utilização do coagulante tanino na remoção da cor, turbidez e DQO do efluente têxtil de uma lavanderia industrial. **Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, XX, 2014, Florianópolis.

STROHER, A.P., *et al.* Utilização de coagulantes naturais no tratamento de efluente proveniente de lavagem de jeans. **Engevista**. v. 15, n. 3, p. 255-260, 2013.

TANAC. Disponível em: <https://www.tanac.com.br/produto/tratamento-de-agua/>. Acesso em: 4 ago. 2022.

THAKUR, S.; CHOUBEY, S. Use of Tannin based natural coagulants for water treatment: An alternative to inorganic chemicals. **International Journal of ChemTech Research CODEN**, v. 6, n. 7, p. 3628–3634, 2014.

TREVISAN, T. S. **Coagulante Tanfloc SG como alternativa ao uso de coagulantes químicos no tratamento de água na ETA Cafezal**. 2014. p. 106. TCC – Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina.

TUNG, C.H. *et al.* Treatment of real printing wastewater with an electrocatalytic process. **Separation and Purification Technology**, v.14, p. 131-136, 2013.

USEFUL TEMPERATE PLANTS. **Acacia mearnsii**. 2021. Disponível em: <http://temperate.theferns.info/plant/Acacia+mearnsii>. Acesso em: 4 ago. 2022.

VERMA, A. K. *et al.* A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. **Journal of Environmental Management**, v. 93, n. 1, p. 154–168, 2012.

VIJAYARAGHAVAN, G., *et al.* Application of Plant Based Coagulants for Wastewater Treatment. **International Journal of Advanced Engineering Research and Studies**, p. 188–192, 2011.

YIN, C-Y. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. **Process Biochemistry**, v. 45, n. 9, p. 1437–1444, 2010.

Yu, Y., *et al.* Effect of dye structure on the interaction between organic flocculant PAN-DCD and dye. **Industrial & Engineering Chemistry Research**. v.41, n.6, p.1589–1596, 2002.

ZHONG, S. F. *et al.* A Survey of Coagulating-Based Treatment of Printing and Dyeing Wastewater. **Advanced Materials Research**, v. 908, p. 493–498, 2014.

**APÊNDICE A – Análises estatística do planejamento experimental fatorial
estrela do sulfato de alumínio**

Apêndice 1 – Análises de DQO

DQO – Modelo Simples X Modelo Linear X Modelo Quadrático

<pre>lm(formula = DQO ~ pH + coagulante + tempo, data = dados1) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -11.032 -7.435 -4.644 9.281 13.756 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) 12.438194 22.225871 0.560 0.585 pH 0.400000 2.576943 0.155 0.879 coagulante 0.000975 0.005154 0.189 0.853 tempo -0.240000 0.257694 -0.931 0.367 Residual standard error: 10.31 on 14 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.06212, Adjusted R-squared: -0.1389 F-statistic: 0.3091 on 3 and 14 DF, p-value: 0.8185</pre>	<pre>lm(formula = DQO ~ pH * coagulante * tempo, data = dados1) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -10.057 -7.841 -5.569 9.281 13.756 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) 8.410e+01 3.990e+02 0.211 0.837 pH -1.154e+01 5.647e+01 -0.204 0.842 coagulante -5.362e-02 2.196e-01 -0.244 0.812 tempo -1.605e+00 1.098e+01 -0.146 0.887 pH:coagulante 8.775e-03 3.107e-02 0.282 0.783 pH:tempo 2.437e-01 1.553e+00 0.157 0.878 coagulante:tempo 1.170e-03 6.036e-03 0.194 0.850 pH:coagulante:tempo -1.950e-04 8.535e-04 -0.228 0.824 Residual standard error: 12.07 on 10 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.0813, Adjusted R-squared: -0.5618 F-statistic: 0.1264 on 7 and 10 DF, p-value: 0.9941</pre>	<pre>lm(formula = DQO ~ pH + coagulante + tempo + pH * coagulante + pH * tempo + coagulante * tempo + pH * coagulante * tempo + I(pH^2) + I(coagulante^2) + I(tempo^2), data = dados1) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -9.328 -6.234 0.720 5.821 9.690 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) 7.034e+00 3.724e+02 0.019 0.9855 pH -1.060e+01 5.861e+01 -0.181 0.8616 coagulante 2.065e-02 1.945e-01 0.106 0.9185 tempo -7.702e-01 9.726e+00 -0.079 0.9391 I(pH^2) -6.750e-02 2.258e+00 -0.030 0.9770 I(coagulante^2) -2.122e-05 9.034e-06 -2.349 0.0512 I(tempo^2) -1.192e-02 2.258e-02 -0.528 0.6138 pH:coagulante 8.775e-03 2.715e-02 0.323 0.7560 pH:tempo 2.437e-01 1.358e+00 0.180 0.8626 coagulante:tempo 1.170e-03 5.275e-03 0.222 0.8308 pH:coagulante:tempo -1.950e-04 7.460e-04 -0.261 0.8013 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 Residual standard error: 10.55 on 7 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.5088, Adjusted R-squared: -0.1929 F-statistic: 0.7251 on 10 and 7 DF, p-value: 0.6888</pre>
<p>Analysis of Variance Table</p> <pre>Response: DQO Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) pH 1 2.56 2.560 0.0241 0.8789 coagulante 1 3.80 3.802 0.0358 0.8527 tempo 1 92.16 92.160 0.8674 0.3675 Residuals 14 1487.50 106.250</pre>	<p>Analysis of Variance Table</p> <pre>Response: DQO Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) pH 1 2.56 2.560 0.0176 0.8972 coagulante 1 3.80 3.802 0.0261 0.8749 tempo 1 92.16 92.160 0.6325 0.4449 pH:coagulante 1 7.61 7.605 0.0522 0.8239 pH:tempo 1 7.60 7.605 0.0522 0.8239 coagulante:tempo 1 7.60 7.605 0.0522 0.8239 pH:coagulante:tempo 1 7.61 7.605 0.0522 0.8239 Residuals 10 1457.08 145.708</pre>	<p>Analysis of Variance Table</p> <pre>Response: DQO Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) pH 1 2.56 2.56 0.0230 0.88373 coagulante 1 3.80 3.80 0.0342 0.85859 tempo 1 92.16 92.16 0.8281 0.39307 I(pH^2) 1 58.07 58.07 5.218 0.049351 I(coagulante^2) 1 588.96 588.96 5.2922 0.05495 I(tempo^2) 1 31.03 31.03 0.2788 0.61381 pH:coagulante 1 7.61 7.61 0.0683 0.80130 pH:tempo 1 7.61 7.61 0.0683 0.80130 coagulante:tempo 1 7.61 7.61 0.0683 0.80130 pH:coagulante:tempo 1 7.61 7.61 0.0683 0.80130 Residuals 7 779.03 111.29 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1</pre>

Apêndice 2 – Análises de COT

COT – Modelo Simples X Modelo Linear X Modelo Quadrático

<pre>lm(formula = COT ~ pH + coagulante + tempo, data = dados1) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -9.6944 -4.0304 0.9556 4.0931 6.4181 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) 11.769444 12.097837 0.973 0.347 pH 0.331250 1.402664 0.236 0.817 coagulante 0.001888 0.002805 0.673 0.512 tempo 0.194375 0.140266 1.386 0.188 Residual standard error: 5.611 on 14 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.1478, Adjusted R-squared: -0.03477 F-statistic: 0.8096 on 3 and 14 DF, p-value: 0.5094</pre>	<pre>lm(formula = COT ~ pH * coagulante * tempo, data = dados1) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -9.6944 -3.9007 0.4368 4.4962 6.4181 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) 5.526e+01 2.163e+02 0.256 0.804 pH -6.253e+00 3.061e+01 -0.204 0.842 coagulante -1.124e-02 1.190e-01 -0.094 0.927 tempo -4.094e-01 5.952e+00 -0.069 0.947 pH:coagulante 2.087e-03 1.684e-02 0.124 0.904 pH:tempo 9.688e-02 8.420e-01 0.115 0.911 coagulante:tempo 1.000e-05 3.271e-03 0.003 0.998 pH:coagulante:tempo -7.500e-06 4.626e-04 -0.016 0.987 Residual standard error: 6.543 on 10 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.1723, Adjusted R-squared: -0.4071 F-statistic: 0.2974 on 7 and 10 DF, p-value: 0.9395</pre>	<pre>lm(formula = COT ~ pH + coagulante + tempo + pH * coagulante + pH * tempo + coagulante * tempo + pH * coagulante * tempo + I(pH^2) + I(coagulante^2) + I(tempo^2), data = dados1) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -6.6758 -2.4196 -0.1679 3.1864 5.3571 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) 1.511e+02 1.902e+02 0.795 0.4528 pH -1.923e+01 2.993e+01 -0.642 0.5410 coagulante -5.589e-02 9.932e-02 -0.563 0.5912 tempo -1.338e+00 4.966e+00 -0.269 0.7954 I(pH^2) 9.267e-01 1.153e+00 0.804 0.4481 I(coagulante^2) 1.276e-05 4.613e-06 2.765 0.0279 * I(tempo^2) 1.327e-02 1.153e-02 1.150 0.2878 pH:coagulante 2.087e-03 1.386e-02 0.151 0.8846 pH:tempo 9.688e-02 6.932e-01 0.140 0.8928 coagulante:tempo 1.000e-05 2.693e-03 0.004 0.9971 pH:coagulante:tempo -7.500e-06 3.809e-04 -0.020 0.9848 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 Residual standard error: 5.387 on 7 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.6073, Adjusted R-squared: 0.04622 F-statistic: 1.082 on 10 and 7 DF, p-value: 0.4727</pre>
<p>Analysis of Variance Table</p> <pre>Response: COT Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) pH 1 1.76 1.756 0.0558 0.8167 coagulante 1 14.25 14.251 0.4527 0.5120 tempo 1 60.45 60.451 1.9203 0.1875 Residuals 14 440.71 31.479</pre>	<p>Analysis of Variance Table</p> <pre>Response: COT Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) pH 1 1.76 1.756 0.0410 0.8436 coagulante 1 14.25 14.251 0.3329 0.5767 tempo 1 60.45 60.451 1.4122 0.2622 pH:coagulante 1 6.66 6.661 0.1556 0.7015 pH:tempo 1 5.61 5.611 0.1311 0.7248 coagulante:tempo 1 0.36 0.361 0.0084 0.9286 pH:coagulante:tempo 1 0.01 0.011 0.0003 0.9874 Residuals 10 428.07 42.807</pre>	<p>Analysis of Variance Table</p> <pre>Response: COT Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) pH 1 1.756 1.756 0.0605 0.81275 coagulante 1 14.251 14.251 0.4911 0.50604 tempo 1 60.451 60.451 2.0834 0.19213 I(pH^2) 1 0.688 0.688 0.0237 0.88197 I(coagulante^2) 1 185.869 185.869 6.4058 0.03918 * I(tempo^2) 1 38.401 38.401 1.3235 0.28775 pH:coagulante 1 6.661 6.661 0.2296 0.64645 pH:tempo 1 5.611 5.611 0.1934 0.67337 coagulante:tempo 1 0.361 0.361 0.0125 0.91429 pH:coagulante:tempo 1 0.011 0.011 0.0004 0.98484 Residuals 7 203.110 29.016 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1</pre>

Apêndice 3 – Análises de AE

Área Espectral – Modelo Simples X Modelo Linear X Modelo Quadrático

<pre>lm(formula = AE ~ pH + coagulante + tempo, data = dados1) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -45.126 -8.053 4.258 11.144 24.042 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) 96.082639 38.780529 2.478 0.02659 * pH -3.243750 4.496346 -0.721 0.48253 coagulante -0.029287 0.008993 -3.257 0.00573 ** tempo 0.471875 0.449635 1.049 0.31174 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 Residual standard error: 17.99 on 14 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.4662, Adjusted R-squared: 0.3519 F-statistic: 4.076 on 3 and 14 DF, p-value: 0.02828</pre>	<pre>lm(formula = AE ~ pH * coagulante * tempo, data = dados1) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -45.126 -9.375 4.261 11.672 16.617 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) 6.576e+01 6.649e+02 0.099 0.923 pH 3.909e+00 9.409e+01 0.042 0.968 coagulante -4.259e-02 3.659e-01 -0.116 0.910 tempo -3.553e+00 1.830e+01 -0.194 0.850 pH:coagulante 2.875e-04 5.177e-02 0.006 0.996 pH:tempo 4.944e-01 2.589e+00 0.191 0.852 coagulante:tempo 3.175e-03 1.006e-02 0.316 0.759 pH:coagulante:tempo -4.075e-04 1.422e-03 -0.287 0.780 Residual standard error: 20.11 on 10 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.5231, Adjusted R-squared: 0.1894 F-statistic: 1.567 on 7 and 10 DF, p-value: 0.2504</pre>	<pre>lm(formula = AE ~ pH + coagulante + tempo + pH * coagulante + pH * tempo + coagulante * tempo + pH * coagulante * tempo + I(pH^2) + I(coagulante^2) + I(tempo^2), data = dados1) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -26.918 -6.747 -2.404 9.970 20.258 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) -3.136e+02 6.686e+02 -0.469 0.653 pH 1.014e+02 1.052e+02 0.964 0.367 coagulante 2.272e-02 3.493e-01 0.065 0.950 tempo -4.094e+00 1.746e+01 -0.234 0.821 I(pH^2) -6.965e+00 4.055e+00 -1.718 0.130 I(coagulante^2) -1.866e-05 1.622e-05 -1.150 0.288 I(tempo^2) 7.725e-03 4.055e-02 0.191 0.854 pH:coagulante 2.875e-04 4.875e-02 0.006 0.995 pH:tempo 4.944e-01 2.438e+00 0.203 0.845 coagulante:tempo 3.175e-03 9.471e-03 0.335 0.747 pH:coagulante:tempo -4.075e-04 1.339e-03 -0.304 0.770 Residual standard error: 18.94 on 7 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.704, Adjusted R-squared: 0.2811 F-statistic: 1.665 on 10 and 7 DF, p-value: 0.2563</pre>
<pre>Analysis of Variance Table Response: AE Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) pH 1 168.4 168.4 0.5204 0.482527 coagulante 1 3431.0 3431.0 10.6068 0.005734 ** tempo 1 356.3 356.3 1.1014 0.311745 Residuals 14 4528.6 323.5 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1</pre>	<pre>Analysis of Variance Table Response: AE Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) pH 1 168.4 168.4 0.4161 0.53340 coagulante 1 3431.0 3431.0 8.4806 0.01551 * tempo 1 356.3 356.3 0.8806 0.37015 pH:coagulante 1 390.6 390.6 0.9655 0.34899 pH:tempo 1 38.3 38.3 0.0946 0.76469 coagulante:tempo 1 20.8 20.8 0.0514 0.82519 pH:coagulante:tempo 1 33.2 33.2 0.0821 0.78033 Residuals 10 4045.7 404.6 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1</pre>	<pre>Analysis of Variance Table Response: AE Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) pH 1 168.4 168.4 0.4692 0.51537 coagulante 1 3431.0 3431.0 9.5633 0.01751 * tempo 1 356.3 356.3 0.9930 0.35220 I(pH^2) 1 935.9 935.9 2.6086 0.15032 I(coagulante^2) 1 585.4 585.4 1.6318 0.24219 I(tempo^2) 1 13.0 13.0 0.0363 0.85432 pH:coagulante 1 390.6 390.6 1.0887 0.33144 pH:tempo 1 38.3 38.3 0.1067 0.75348 coagulante:tempo 1 20.8 20.8 0.0580 0.81662 pH:coagulante:tempo 1 33.2 33.2 0.0926 0.76978 Residuals 7 2511.4 358.8</pre>

Apêndice 4 – Análises de Turbidez

Turbidez – Modelo Simples X Modelo Linear X Modelo Quadrático

<pre>lm(formula = TUR ~ pH + coagulante + tempo, data = dados1) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -7.460 -2.327 -0.025 3.283 5.633 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) 93.485625 8.617154 10.849 3.37e-08 *** pH 0.956250 0.999102 0.957 0.355 coagulante -0.001965 0.001998 -0.983 0.342 tempo -0.018875 0.099910 -0.189 0.853 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 Residual standard error: 3.996 on 14 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.1205, Adjusted R-squared: -0.06792 F-statistic: 0.6396 on 3 and 14 DF, p-value: 0.602</pre>	<pre>lm(formula = TUR ~ pH * coagulante * tempo, data = dados1) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -5.857 -2.903 0.075 3.283 5.633 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) 1.272e+02 1.480e+02 0.860 0.410 pH -3.760e+00 2.095e+01 -0.179 0.861 coagulante -2.069e-02 8.147e-02 -0.254 0.805 tempo 2.016e-01 4.074e+00 0.049 0.961 pH:coagulante 2.615e-03 1.153e-02 0.227 0.825 pH:tempo -3.450e-02 5.763e-01 -0.060 0.953 coagulante:tempo -1.420e-04 2.239e-03 -0.063 0.951 pH:coagulante:tempo 2.200e-05 3.167e-04 0.069 0.946 Residual standard error: 4.478 on 10 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.2112, Adjusted R-squared: -0.3409 F-statistic: 0.3825 on 7 and 10 DF, p-value: 0.8925</pre>	<pre>lm(formula = TUR ~ pH + coagulante + tempo + pH * coagulante + pH * tempo + coagulante * tempo + pH * coagulante * tempo + I(pH^2) + I(coagulante^2) + I(tempo^2), data = dados1) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -5.5857 -2.1238 0.5044 1.3728 5.1607 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) 8.901e+01 1.664e+02 0.535 0.609 pH 2.137e-01 2.619e+01 0.008 0.994 coagulante -1.719e-03 8.693e-02 -0.020 0.985 tempo 7.669e-01 4.346e+00 0.176 0.865 I(pH^2) -2.838e-01 1.009e+00 -0.281 0.787 I(coagulante^2) -5.420e-06 4.037e-06 -1.343 0.221 I(tempo^2) -8.076e-03 1.009e-02 -0.800 0.450 pH:coagulante 2.615e-03 1.213e-02 0.216 0.836 pH:tempo -3.450e-02 6.067e-01 -0.057 0.956 coagulante:tempo -1.420e-04 2.357e-03 -0.060 0.954 pH:coagulante:tempo 2.200e-05 3.334e-04 0.066 0.949 Residual standard error: 4.714 on 7 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.3881, Adjusted R-squared: -0.4861 F-statistic: 0.4439 on 10 and 7 DF, p-value: 0.8819</pre>
<p>Analysis of Variance Table</p> <pre>Response: TUR Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) pH 1 14.631 14.631 0.9161 0.3547 coagulante 1 15.445 15.445 0.9670 0.3421 tempo 1 0.570 0.570 0.0357 0.8529 Residuals 14 223.598 15.971</pre>	<p>Analysis of Variance Table</p> <pre>Response: TUR Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) pH 1 14.631 14.6306 0.7296 0.4130 coagulante 1 15.445 15.4449 0.7702 0.4008 tempo 1 0.570 0.5700 0.0284 0.8695 pH:coagulante 1 22.916 22.9165 1.1427 0.3102 pH:tempo 1 0.013 0.0128 0.0006 0.9803 coagulante:tempo 1 0.029 0.0288 0.0014 0.9705 pH:coagulante:tempo 1 0.097 0.0968 0.0048 0.9460 Residuals 10 200.543 20.0543</pre>	<p>Analysis of Variance Table</p> <pre>Response: TUR Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) pH 1 14.631 14.6306 0.6583 0.4439 coagulante 1 15.445 15.4449 0.6949 0.4320 tempo 1 0.570 0.5700 0.0256 0.8773 I(pH^2) 1 1.462 1.4625 0.0658 0.8049 I(coagulante^2) 1 29.274 29.2737 1.3171 0.2888 I(tempo^2) 1 14.230 14.2296 0.6402 0.4499 pH:coagulante 1 22.916 22.9165 1.0311 0.3437 pH:tempo 1 0.013 0.0128 0.0006 0.9815 coagulante:tempo 1 0.029 0.0288 0.0013 0.9723 pH:coagulante:tempo 1 0.097 0.0968 0.0044 0.9492 Residuals 7 155.577 22.2253</pre>

APÊNDICE B – Análise estatística do planejamento experimental fatorial estrela do tanino

Apêndice 1 – Análises de DQO

DQO – Modelo Simples X Modelo Linear X Modelo Quadrático

<pre>lm(formula = DQO ~ pH + coagulante + tempo, data = dados1) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -16.8790 -8.6221 -0.2783 10.2870 18.1367 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) -14.86042 18.55958 -0.801 0.437 pH 0.73969 1.58245 0.467 0.647 coagulante 0.01851 0.03165 0.585 0.568 tempo 0.50269 0.31649 1.588 0.135 Residual standard error: 12.66 on 14 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.1805, Adjusted R-squared: 0.004869 F-statistic: 1.028 on 3 and 14 DF, p-value: 0.4103</pre>	<pre>lm(formula = DQO ~ pH * coagulante * tempo, data = dados1) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -14.246 -8.028 -1.452 5.845 18.137 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) -14.357292 190.034640 -0.076 0.941 pH 8.034688 26.183334 0.307 0.765 coagulante 0.189503 0.603066 0.314 0.760 tempo 1.663938 5.236667 0.318 0.757 pH:coagulante -0.048984 0.082956 -0.590 0.568 pH:tempo -0.376375 0.720673 -0.522 0.613 coagulante:tempo -0.008804 0.016591 -0.531 0.607 pH:coagulante:tempo 0.001959 0.002279 0.860 0.410 Residual standard error: 12.89 on 10 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.393, Adjusted R-squared: -0.03197 F-statistic: 0.9248 on 7 and 10 DF, p-value: 0.5267</pre>	<pre>lm(formula = DQO ~ pH + coagulante + tempo + pH * coagulante + pH * tempo + coagulante * tempo + pH * coagulante * tempo + I(pH^2) + I(coagulante^2) + I(tempo^2), data = dados1) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -13.2010 -6.9826 -0.0584 6.7168 13.3179 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) -1.090e+02 2.006e+02 -0.543 0.604 pH 1.396e+01 2.796e+01 0.499 0.633 coagulante 4.149e-01 6.266e-01 0.662 0.529 tempo 4.436e+00 5.593e+00 0.793 0.454 I(pH^2) -4.233e-01 6.913e-01 -0.612 0.560 I(coagulante^2) -3.756e-04 2.765e-04 -1.358 0.217 I(tempo^2) -3.960e-02 2.765e-02 -1.432 0.195 pH:coagulante -4.898e-02 8.312e-02 -0.589 0.574 pH:tempo -3.764e-01 7.221e-01 -0.521 0.618 coagulante:tempo -8.804e-03 1.662e-02 -0.530 0.613 pH:coagulante:tempo 1.959e-03 2.283e-03 0.858 0.419 Residual standard error: 12.92 on 7 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.5734, Adjusted R-squared: -0.03601 F-statistic: 0.9409 on 10 and 7 DF, p-value: 0.5504</pre>																																																																																																																																																												
<p>Analysis of Variance Table</p> <p>Response: DQO</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Df</th> <th>Sum Sq</th> <th>Mean Sq</th> <th>F value</th> <th>Pr(>F)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>pH</td> <td>1</td> <td>35.02</td> <td>35.02</td> <td>0.2185</td> <td>0.6474</td> </tr> <tr> <td>coagulante</td> <td>1</td> <td>54.80</td> <td>54.80</td> <td>0.3419</td> <td>0.5680</td> </tr> <tr> <td>tempo</td> <td>1</td> <td>404.31</td> <td>404.31</td> <td>2.5228</td> <td>0.1345</td> </tr> <tr> <td>Residuals</td> <td>14</td> <td>2243.71</td> <td>160.26</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	pH	1	35.02	35.02	0.2185	0.6474	coagulante	1	54.80	54.80	0.3419	0.5680	tempo	1	404.31	404.31	2.5228	0.1345	Residuals	14	2243.71	160.26			<p>Analysis of Variance Table</p> <p>Response: DQO</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Df</th> <th>Sum Sq</th> <th>Mean Sq</th> <th>F value</th> <th>Pr(>F)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>pH</td> <td>1</td> <td>35.02</td> <td>35.02</td> <td>0.2107</td> <td>0.6560</td> </tr> <tr> <td>coagulante</td> <td>1</td> <td>54.80</td> <td>54.80</td> <td>0.3297</td> <td>0.5785</td> </tr> <tr> <td>tempo</td> <td>1</td> <td>404.31</td> <td>404.31</td> <td>2.4327</td> <td>0.1499</td> </tr> <tr> <td>pH:coagulante</td> <td>1</td> <td>122.85</td> <td>122.85</td> <td>0.7392</td> <td>0.4101</td> </tr> <tr> <td>pH:tempo</td> <td>1</td> <td>143.06</td> <td>143.06</td> <td>0.8608</td> <td>0.3754</td> </tr> <tr> <td>coagulante:tempo</td> <td>1</td> <td>192.96</td> <td>192.96</td> <td>1.1610</td> <td>0.3066</td> </tr> <tr> <td>pH:coagulante:tempo</td> <td>1</td> <td>122.85</td> <td>122.85</td> <td>0.7392</td> <td>0.4101</td> </tr> <tr> <td>Residuals</td> <td>10</td> <td>1661.98</td> <td>166.20</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	pH	1	35.02	35.02	0.2107	0.6560	coagulante	1	54.80	54.80	0.3297	0.5785	tempo	1	404.31	404.31	2.4327	0.1499	pH:coagulante	1	122.85	122.85	0.7392	0.4101	pH:tempo	1	143.06	143.06	0.8608	0.3754	coagulante:tempo	1	192.96	192.96	1.1610	0.3066	pH:coagulante:tempo	1	122.85	122.85	0.7392	0.4101	Residuals	10	1661.98	166.20			<p>Analysis of Variance Table</p> <p>Response: DQO</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Df</th> <th>Sum Sq</th> <th>Mean Sq</th> <th>F value</th> <th>Pr(>F)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>pH</td> <td>1</td> <td>35.02</td> <td>35.02</td> <td>0.2099</td> <td>0.6607</td> </tr> <tr> <td>coagulante</td> <td>1</td> <td>54.80</td> <td>54.80</td> <td>0.3284</td> <td>0.5845</td> </tr> <tr> <td>tempo</td> <td>1</td> <td>404.31</td> <td>404.31</td> <td>2.4232</td> <td>0.1635</td> </tr> <tr> <td>I(pH^2)</td> <td>1</td> <td>0.74</td> <td>0.74</td> <td>0.0044</td> <td>0.9489</td> </tr> <tr> <td>I(coagulante^2)</td> <td>1</td> <td>151.23</td> <td>151.23</td> <td>0.9064</td> <td>0.3728</td> </tr> <tr> <td>I(tempo^2)</td> <td>1</td> <td>342.07</td> <td>342.07</td> <td>2.0502</td> <td>0.1953</td> </tr> <tr> <td>pH:coagulante</td> <td>1</td> <td>122.85</td> <td>122.85</td> <td>0.7363</td> <td>0.4193</td> </tr> <tr> <td>pH:tempo</td> <td>1</td> <td>143.06</td> <td>143.06</td> <td>0.8574</td> <td>0.3853</td> </tr> <tr> <td>coagulante:tempo</td> <td>1</td> <td>192.96</td> <td>192.96</td> <td>1.1565</td> <td>0.3179</td> </tr> <tr> <td>pH:coagulante:tempo</td> <td>1</td> <td>122.85</td> <td>122.85</td> <td>0.7363</td> <td>0.4193</td> </tr> <tr> <td>Residuals</td> <td>7</td> <td>1167.94</td> <td>166.85</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	pH	1	35.02	35.02	0.2099	0.6607	coagulante	1	54.80	54.80	0.3284	0.5845	tempo	1	404.31	404.31	2.4232	0.1635	I(pH^2)	1	0.74	0.74	0.0044	0.9489	I(coagulante^2)	1	151.23	151.23	0.9064	0.3728	I(tempo^2)	1	342.07	342.07	2.0502	0.1953	pH:coagulante	1	122.85	122.85	0.7363	0.4193	pH:tempo	1	143.06	143.06	0.8574	0.3853	coagulante:tempo	1	192.96	192.96	1.1565	0.3179	pH:coagulante:tempo	1	122.85	122.85	0.7363	0.4193	Residuals	7	1167.94	166.85		
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)																																																																																																																																																									
pH	1	35.02	35.02	0.2185	0.6474																																																																																																																																																									
coagulante	1	54.80	54.80	0.3419	0.5680																																																																																																																																																									
tempo	1	404.31	404.31	2.5228	0.1345																																																																																																																																																									
Residuals	14	2243.71	160.26																																																																																																																																																											
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)																																																																																																																																																									
pH	1	35.02	35.02	0.2107	0.6560																																																																																																																																																									
coagulante	1	54.80	54.80	0.3297	0.5785																																																																																																																																																									
tempo	1	404.31	404.31	2.4327	0.1499																																																																																																																																																									
pH:coagulante	1	122.85	122.85	0.7392	0.4101																																																																																																																																																									
pH:tempo	1	143.06	143.06	0.8608	0.3754																																																																																																																																																									
coagulante:tempo	1	192.96	192.96	1.1610	0.3066																																																																																																																																																									
pH:coagulante:tempo	1	122.85	122.85	0.7392	0.4101																																																																																																																																																									
Residuals	10	1661.98	166.20																																																																																																																																																											
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)																																																																																																																																																									
pH	1	35.02	35.02	0.2099	0.6607																																																																																																																																																									
coagulante	1	54.80	54.80	0.3284	0.5845																																																																																																																																																									
tempo	1	404.31	404.31	2.4232	0.1635																																																																																																																																																									
I(pH^2)	1	0.74	0.74	0.0044	0.9489																																																																																																																																																									
I(coagulante^2)	1	151.23	151.23	0.9064	0.3728																																																																																																																																																									
I(tempo^2)	1	342.07	342.07	2.0502	0.1953																																																																																																																																																									
pH:coagulante	1	122.85	122.85	0.7363	0.4193																																																																																																																																																									
pH:tempo	1	143.06	143.06	0.8574	0.3853																																																																																																																																																									
coagulante:tempo	1	192.96	192.96	1.1565	0.3179																																																																																																																																																									
pH:coagulante:tempo	1	122.85	122.85	0.7363	0.4193																																																																																																																																																									
Residuals	7	1167.94	166.85																																																																																																																																																											

Apêndice 2 – Análises de COT

COT – Modelo Simples X Modelo Linear X Modelo Quadrático

<pre>lm(formula = COT ~ pH + coagulante + tempo, data = dados1) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -12.450 -7.544 2.700 7.169 11.025 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) 3.581250 13.234192 0.271 0.791 pH 0.125000 1.128388 0.111 0.913 coagulante -0.007125 0.022568 -0.316 0.757 tempo 0.203750 0.225678 0.903 0.382 Residual standard error: 9.027 on 14 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.06211, Adjusted R-squared: -0.1389 F-statistic: 0.309 on 3 and 14 DF, p-value: 0.8185</pre>	<pre>lm(formula = COT ~ pH * coagulante * tempo, data = dados1) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -12.5250 -6.2312 0.1625 5.6250 11.0250 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) -3.331250 145.291833 -0.023 0.982 pH 4.525000 20.018585 0.226 0.826 coagulante 0.108813 0.461076 0.236 0.818 tempo 1.113750 4.003717 0.278 0.787 pH:coagulante -0.027938 0.063424 -0.440 0.669 pH:tempo -0.227500 0.550993 -0.413 0.688 coagulante:tempo -0.005688 0.012685 -0.448 0.663 pH:coagulante:tempo 0.001138 0.001742 0.653 0.529 Residual standard error: 9.856 on 10 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.2013, Adjusted R-squared: -0.3578 F-statistic: 0.3601 on 7 and 10 DF, p-value: 0.9058</pre>	<pre>lm(formula = COT ~ pH + coagulante + tempo + pH * coagulante + pH * tempo + coagulante * tempo + pH * coagulante * tempo + I(pH^2) + I(coagulante^2) + I(tempo^2), data = dados1) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -12.390 -6.096 1.718 4.545 13.115 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) -1.456e+01 1.811e+02 -0.080 0.938 pH 6.380e+00 2.524e+01 0.253 0.808 coagulante 1.564e-01 5.655e-01 0.277 0.790 tempo 1.038e+00 5.047e+00 0.206 0.843 I(pH^2) -1.325e-01 6.239e-01 -0.212 0.838 I(coagulante^2) -7.925e-05 2.496e-04 -0.318 0.760 I(tempo^2) 1.075e-03 2.496e-02 0.043 0.967 pH:coagulante -2.794e-02 7.501e-02 -0.372 0.721 pH:tempo -2.275e-01 6.517e-01 -0.349 0.737 coagulante:tempo -5.687e-03 1.500e-02 -0.379 0.716 pH:coagulante:tempo 1.138e-03 2.061e-03 0.552 0.598 Residual standard error: 11.66 on 7 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.218, Adjusted R-squared: -0.8992 F-statistic: 0.1951 on 10 and 7 DF, p-value: 0.9895</pre>
<p>Analysis of Variance Table</p> <pre>Response: COT Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) pH 1 1.00 1.000 0.0123 0.9134 coagulante 1 8.12 8.123 0.0997 0.7569 tempo 1 66.42 66.422 0.8151 0.3819 Residuals 14 1140.84 81.489</pre>	<p>Analysis of Variance Table</p> <pre>Response: COT Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) pH 1 1.00 1.000 0.0103 0.9212 coagulante 1 8.12 8.123 0.0836 0.7784 tempo 1 66.42 66.422 0.6837 0.4276 pH:coagulante 1 45.13 45.125 0.4645 0.5110 pH:tempo 1 41.40 41.405 0.4262 0.5286 coagulante:tempo 1 41.40 41.405 0.4262 0.5286 pH:coagulante:tempo 1 41.41 41.405 0.4262 0.5286 Residuals 10 971.50 97.150</pre>	<p>Analysis of Variance Table</p> <pre>Response: COT Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) pH 1 1.00 1.000 0.0074 0.9340 coagulante 1 8.12 8.123 0.0598 0.8139 tempo 1 66.42 66.422 0.4888 0.5070 I(pH^2) 1 3.43 3.428 0.0252 0.8783 I(coagulante^2) 1 16.59 16.591 0.1221 0.7371 I(tempo^2) 1 0.25 0.252 0.0019 0.9668 pH:coagulante 1 45.13 45.125 0.3321 0.5825 pH:tempo 1 41.40 41.405 0.3047 0.5981 coagulante:tempo 1 41.40 41.405 0.3047 0.5981 pH:coagulante:tempo 1 41.41 41.405 0.3047 0.5981 Residuals 7 951.23 135.890</pre>

Apêndice 3 - Análises de AE

Área Espectral – Modelo Simples X Modelo Linear X Modelo Quadrático

<pre>lm(formula = AE ~ pH + coagulante + tempo, data = dados1) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -24.459 -11.376 3.856 12.668 19.917 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) 6.091528 25.084220 0.243 0.811649 pH 8.861562 2.138757 4.143 0.000994 *** coagulante 0.004844 0.042775 0.113 0.911450 tempo 0.115062 0.427751 0.269 0.791858 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 Residual standard error: 17.11 on 14 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.552, Adjusted R-squared: 0.456 F-statistic: 5.751 on 3 and 14 DF, p-value: 0.008863 > anova(m0.1) Analysis of Variance Table Response: AE Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) pH 1 5025.7 5025.7 17.1671 0.0009944 *** coagulante 1 3.8 3.8 0.0128 0.9114501 tempo 1 21.2 21.2 0.0724 0.7918581 Residuals 14 4098.6 292.8 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1</pre>	<pre>lm(formula = AE ~ pH * coagulante * tempo, data = dados1) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -24.459 -14.645 3.753 12.668 19.917 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) -5.622e+01 2.970e+02 -0.189 0.854 pH 1.680e+01 4.092e+01 0.411 0.690 coagulante 2.557e-01 9.426e-01 0.271 0.792 tempo 1.672e+00 8.185e+00 0.204 0.842 pH:coagulante -3.263e-02 1.297e-01 -0.252 0.806 pH:tempo -1.949e-01 1.126e+00 -0.173 0.866 coagulante:tempo -6.421e-03 2.593e-02 -0.248 0.809 pH:coagulante:tempo 8.256e-04 3.562e-03 0.232 0.821 Residual standard error: 20.15 on 10 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.5562, Adjusted R-squared: 0.2456 F-statistic: 1.791 on 7 and 10 DF, p-value: 0.1945 > anova(m1.1) Analysis of Variance Table Response: AE Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) pH 1 5025.7 5025.7 12.3785 0.005554 ** coagulante 1 3.8 3.8 0.0092 0.925297 tempo 1 21.2 21.2 0.0522 0.823926 pH:coagulante 1 4.5 4.5 0.0110 0.918644 pH:tempo 1 8.9 8.9 0.0220 0.885079 coagulante:tempo 1 3.3 3.3 0.0081 0.930054 pH:coagulante:tempo 1 21.8 21.8 0.0537 0.821377 Residuals 10 4060.1 406.0 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1</pre>	<pre>lm(formula = AE ~ pH + coagulante + tempo + pH * coagulante + pH * tempo + coagulante * tempo + pH * coagulante * tempo + I(pH^2) + I(coagulante^2) + I(tempo^2), data = dados1) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -21.988 -5.545 1.038 8.942 27.355 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) -1.582e+02 3.224e+02 -0.491 0.639 pH 4.065e+01 4.493e+01 0.905 0.396 coagulante 3.324e-01 1.007e+00 0.330 0.751 tempo 2.546e+00 8.986e+00 0.283 0.785 I(pH^2) -1.703e+00 1.111e+00 -1.533 0.169 I(coagulante^2) -1.279e-04 4.443e-04 -0.288 0.782 I(tempo^2) -1.249e-02 4.443e-02 -0.281 0.787 pH:coagulante -3.263e-02 1.335e-01 -0.244 0.814 pH:tempo -1.949e-01 1.160e+00 -0.168 0.871 coagulante:tempo -6.421e-03 2.671e-02 -0.240 0.817 pH:coagulante:tempo 8.256e-04 3.669e-03 0.225 0.828 Residual standard error: 20.75 on 7 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.6704, Adjusted R-squared: 0.1997 F-statistic: 1.424 on 10 and 7 DF, p-value: 0.3283 > anova(m2.1,test="F") Analysis of Variance Table Response: AE Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) pH 1 5025.7 5025.7 11.6678 0.0112 * coagulante 1 3.8 3.8 0.0087 0.9282 tempo 1 21.2 21.2 0.0492 0.8308 I(pH^2) 1 992.0 992.0 2.3031 0.1729 I(coagulante^2) 1 18.9 18.9 0.0438 0.8402 I(tempo^2) 1 34.0 34.0 0.0790 0.7868 pH:coagulante 1 4.5 4.5 0.0103 0.9218 pH:tempo 1 8.9 8.9 0.0207 0.8896 coagulante:tempo 1 3.3 3.3 0.0076 0.9328 pH:coagulante:tempo 1 21.8 21.8 0.0506 0.8284 Residuals 7 3015.2 430.7 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1</pre>
---	---	--

Apêndice 4 - Análises de Turbidez

Turbidez – Modelo Simples X Modelo Linear X Modelo Quadrático

<pre>lm(formula = TUR ~ pH + coagulante + tempo, data = dados1) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -4.6061 -0.2449 0.6926 1.1801 2.9839 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) 94.124861 3.401409 27.672 1.27e-13 *** pH -0.069375 0.290015 -0.239 0.814 coagulante 0.006700 0.005800 1.155 0.267 tempo -0.004375 0.058003 -0.075 0.941 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 Residual standard error: 2.32 on 14 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.09074, Adjusted R-squared: -0.1041 F-statistic: 0.4657 on 3 and 14 DF, p-value: 0.7108</pre>	<pre>lm(formula = TUR ~ pH * coagulante * tempo, data = dados1) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -4.6061 0.0226 0.6726 1.1533 2.9839 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) 81.3848611 39.4051019 2.065 0.0658 . pH 2.3956250 5.4293099 0.441 0.6684 coagulante 0.0520250 0.1250502 0.416 0.6862 tempo 0.3986250 1.0858620 0.367 0.7212 pH:coagulante -0.0086250 0.0172015 -0.501 0.6269 pH:tempo -0.0760000 0.1494368 -0.509 0.6221 coagulante:tempo -0.0014250 0.0034403 -0.414 0.6875 pH:coagulante:tempo 0.0002650 0.0004726 0.561 0.5873 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 Residual standard error: 2.673 on 10 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.1378, Adjusted R-squared: -0.4657 F-statistic: 0.2283 on 7 and 10 DF, p-value: 0.9688</pre>	<pre>lm(formula = TUR ~ pH + coagulante + tempo + pH * coagulante + pH * tempo + coagulante * tempo + pH * coagulante * tempo + I(pH^2) + I(coagulante^2) + I(tempo^2), data = dados1) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -2.0645 -1.0694 0.1163 1.1154 1.8320 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) 6.252e+01 3.078e+01 2.031 0.0818 . pH 2.281e+00 4.290e+00 0.532 0.6114 coagulante 1.248e-01 9.614e-02 1.298 0.2353 tempo 9.777e-01 8.581e-01 1.139 0.2920 I(pH^2) 8.188e-03 1.061e-01 0.077 0.9406 I(coagulante^2) -1.213e-04 4.243e-05 -2.860 0.0243 * I(tempo^2) -8.273e-03 4.243e-03 -1.950 0.0922 . pH:coagulante -8.625e-03 1.275e-02 -0.676 0.5205 pH:tempo -7.600e-02 1.108e-01 -0.686 0.5148 coagulante:tempo -1.425e-03 2.550e-03 -0.559 0.5938 pH:coagulante:tempo 2.650e-04 3.503e-04 0.756 0.4741 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 Residual standard error: 1.982 on 7 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.6683, Adjusted R-squared: 0.1944 F-statistic: 1.41 on 10 and 7 DF, p-value: 0.3331</pre>
<p>Analysis of Variance Table</p> <pre>Response: TUR Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) pH 1 0.308 0.3080 0.0572 0.8144 coagulante 1 7.182 7.1824 1.3343 0.2674 tempo 1 0.031 0.0306 0.0057 0.9409 Residuals 14 75.361 5.3829</pre>	<p>Analysis of Variance Table</p> <pre>Response: TUR Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) pH 1 0.308 0.3080 0.0431 0.8397 coagulante 1 7.182 7.1824 1.0051 0.3397 tempo 1 0.031 0.0306 0.0043 0.9491 pH:coagulante 1 0.135 0.1352 0.0189 0.8933 pH:tempo 1 0.039 0.0392 0.0055 0.9424 coagulante:tempo 1 1.479 1.4792 0.2070 0.6588 pH:coagulante:tempo 1 2.247 2.2472 0.3145 0.5873 Residuals 10 71.460 7.1460</pre>	<p>Analysis of Variance Table</p> <pre>Response: TUR Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) pH 1 0.3080 0.3080 0.0784 0.78754 coagulante 1 7.1824 7.1824 1.8287 0.21834 tempo 1 0.0306 0.0306 0.0078 0.93211 I(pH^2) 1 7.1143 7.1143 1.8114 0.22030 I(coagulante^2) 1 21.9221 21.9221 5.5816 0.05015 . I(tempo^2) 1 14.9311 14.9311 3.8016 0.09220 . pH:coagulante 1 0.1352 0.1352 0.0344 0.85807 pH:tempo 1 0.0392 0.0392 0.0100 0.92322 coagulante:tempo 1 1.4792 1.4792 0.3766 0.55882 pH:coagulante:tempo 1 2.2472 2.2472 0.5722 0.47408 Residuals 7 27.4929 3.9276</pre>

APÊNDICE C – Análise estatística do planejamento 2^3 com ponto central do sulfato de alumínio

Apêndice 1 – Análises de DQO

DQO – Modelo Simples X Modelo Linear

```
lm(formula = DQO ~ pH + coagulante + tempo, data = dados1)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-7.558	-6.096	-4.633	8.467	15.717

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0.241667	30.844365	-0.008	0.994
pH	0.975000	3.581554	0.272	0.792
coagulante	0.001950	0.007163	0.272	0.792
tempo	-0.097500	0.358155	-0.272	0.792

Residual standard error: 10.13 on 8 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.02704, Adjusted R-squared: -0.3378

F-statistic: 0.07411 on 3 and 8 DF, p-value: 0.9722

```
> anova(m0.1)
```

Analysis of Variance Table

Response: DQO

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
pH	1	7.60	7.605	0.0741	0.7923
coagulante	1	7.60	7.605	0.0741	0.7923
tempo	1	7.61	7.605	0.0741	0.7923
Residuals	8	820.96	102.620		

```
lm(formula = DQO ~ pH * coagulante * tempo, data = dados1)
```

Residuals:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-5.608	-5.608	-5.608	-5.608	-5.608	-5.608	-5.608	-5.608	8.617	8.417	15.717	12.117

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	7.142e+01	4.657e+02	0.153	0.886
pH	-1.097e+01	6.586e+01	-0.167	0.876
coagulante	-5.265e-02	2.559e-01	-0.206	0.847
tempo	-1.462e+00	1.279e+01	-0.114	0.914
pH:coagulante	8.775e-03	3.618e-02	0.243	0.820
pH:tempo	2.437e-01	1.809e+00	0.135	0.899
coagulante:tempo	1.170e-03	7.029e-03	0.166	0.876
pH:coagulante:tempo	-1.950e-04	9.941e-04	-0.196	0.854

Residual standard error: 14.06 on 4 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.06309, Adjusted R-squared: -1.576

F-statistic: 0.03848 on 7 and 4 DF, p-value: 0.9997

```
> anova(m1.1)
```

Analysis of Variance Table

Response: DQO

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
pH	1	7.60	7.605	0.0385	0.854
coagulante	1	7.60	7.605	0.0385	0.854
tempo	1	7.61	7.605	0.0385	0.854
pH:coagulante	1	7.61	7.605	0.0385	0.854
pH:tempo	1	7.60	7.605	0.0385	0.854
coagulante:tempo	1	7.60	7.605	0.0385	0.854
pH:coagulante:tempo	1	7.61	7.605	0.0385	0.854
Residuals	4	790.54	197.635		

Apêndice 2 – Análises de COT

COT – Modelo Simples X Modelo Linear

<pre>lm(formula = COT ~ pH + coagulante + tempo, data = dados1)</pre> <p>Residuals:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Min</th> <th>1Q</th> <th>Median</th> <th>3Q</th> <th>Max</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-9.542</td> <td>-1.817</td> <td>1.958</td> <td>3.140</td> <td>4.446</td> </tr> </tbody> </table> <p>Coefficients:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Estimate</th> <th>Std. Error</th> <th>t value</th> <th>Pr(> t)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(Intercept)</td> <td>16.079167</td> <td>17.187152</td> <td>0.936</td> <td>0.377</td> </tr> <tr> <td>pH</td> <td>0.987500</td> <td>1.995720</td> <td>0.495</td> <td>0.634</td> </tr> <tr> <td>coagulante</td> <td>0.001275</td> <td>0.003991</td> <td>0.319</td> <td>0.758</td> </tr> <tr> <td>tempo</td> <td>-0.033750</td> <td>0.199572</td> <td>-0.169</td> <td>0.870</td> </tr> </tbody> </table> <p>Residual standard error: 5.645 on 8 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.04483, Adjusted R-squared: -0.3134 F-statistic: 0.1252 on 3 and 8 DF, p-value: 0.9426</p> <pre>> anova(m0.1)</pre> <p>Analysis of Variance Table</p> <p>Response: COT</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Df</th> <th>Sum Sq</th> <th>Mean Sq</th> <th>F value</th> <th>Pr(>F)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>pH</td> <td>1</td> <td>7.801</td> <td>7.801</td> <td>0.2448</td> <td>0.6340</td> </tr> <tr> <td>coagulante</td> <td>1</td> <td>3.251</td> <td>3.251</td> <td>0.1020</td> <td>0.7576</td> </tr> <tr> <td>tempo</td> <td>1</td> <td>0.911</td> <td>0.911</td> <td>0.0286</td> <td>0.8699</td> </tr> <tr> <td>Residuals</td> <td>8</td> <td>254.905</td> <td>31.863</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Min	1Q	Median	3Q	Max	-9.542	-1.817	1.958	3.140	4.446		Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	(Intercept)	16.079167	17.187152	0.936	0.377	pH	0.987500	1.995720	0.495	0.634	coagulante	0.001275	0.003991	0.319	0.758	tempo	-0.033750	0.199572	-0.169	0.870		Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	pH	1	7.801	7.801	0.2448	0.6340	coagulante	1	3.251	3.251	0.1020	0.7576	tempo	1	0.911	0.911	0.0286	0.8699	Residuals	8	254.905	31.863			<pre>lm(formula = COT ~ pH * coagulante * tempo, data = dados1)</pre> <p>Residuals:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> <th>11</th> <th>12</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2.8708</td> <td>2.8708</td> <td>2.8708</td> <td>2.8708</td> <td>2.8708</td> <td>2.8708</td> <td>2.8708</td> <td>2.8708</td> <td>-9.5417</td> <td>-4.4417</td> <td>-0.9417</td> <td>-8.0417</td> </tr> </tbody> </table> <p>Coefficients:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Estimate</th> <th>Std. Error</th> <th>t value</th> <th>Pr(> t)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(Intercept)</td> <td>5.957e+01</td> <td>2.578e+02</td> <td>0.231</td> <td>0.829</td> </tr> <tr> <td>pH</td> <td>-5.597e+00</td> <td>3.646e+01</td> <td>-0.154</td> <td>0.885</td> </tr> <tr> <td>coagulante</td> <td>-1.185e-02</td> <td>1.416e-01</td> <td>-0.084</td> <td>0.937</td> </tr> <tr> <td>tempo</td> <td>-6.375e-01</td> <td>7.082e+00</td> <td>-0.090</td> <td>0.933</td> </tr> <tr> <td>pH:coagulante</td> <td>2.087e-03</td> <td>2.003e-02</td> <td>0.104</td> <td>0.922</td> </tr> <tr> <td>pH:tempo</td> <td>9.688e-02</td> <td>1.002e+00</td> <td>0.097</td> <td>0.928</td> </tr> <tr> <td>coagulante:tempo</td> <td>1.000e-05</td> <td>3.891e-03</td> <td>0.003</td> <td>0.998</td> </tr> <tr> <td>pH:coagulante:tempo</td> <td>-7.500e-06</td> <td>5.503e-04</td> <td>-0.014</td> <td>0.990</td> </tr> </tbody> </table> <p>Residual standard error: 7.782 on 4 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.09221, Adjusted R-squared: -1.496 F-statistic: 0.05805 on 7 and 4 DF, p-value: 0.999</p> <pre>> anova(m1.1)</pre> <p>Analysis of Variance Table</p> <p>Response: COT</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Df</th> <th>Sum Sq</th> <th>Mean Sq</th> <th>F value</th> <th>Pr(>F)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>pH</td> <td>1</td> <td>7.801</td> <td>7.801</td> <td>0.1288</td> <td>0.7378</td> </tr> <tr> <td>coagulante</td> <td>1</td> <td>3.251</td> <td>3.251</td> <td>0.0537</td> <td>0.8281</td> </tr> <tr> <td>tempo</td> <td>1</td> <td>0.911</td> <td>0.911</td> <td>0.0150</td> <td>0.9083</td> </tr> <tr> <td>pH:coagulante</td> <td>1</td> <td>6.661</td> <td>6.661</td> <td>0.1100</td> <td>0.7568</td> </tr> <tr> <td>pH:tempo</td> <td>1</td> <td>5.611</td> <td>5.611</td> <td>0.0926</td> <td>0.7760</td> </tr> <tr> <td>coagulante:tempo</td> <td>1</td> <td>0.361</td> <td>0.361</td> <td>0.0060</td> <td>0.9421</td> </tr> <tr> <td>pH:coagulante:tempo</td> <td>1</td> <td>0.011</td> <td>0.011</td> <td>0.0002</td> <td>0.9898</td> </tr> <tr> <td>Residuals</td> <td>4</td> <td>242.260</td> <td>60.565</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	2.8708	2.8708	2.8708	2.8708	2.8708	2.8708	2.8708	2.8708	-9.5417	-4.4417	-0.9417	-8.0417		Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	(Intercept)	5.957e+01	2.578e+02	0.231	0.829	pH	-5.597e+00	3.646e+01	-0.154	0.885	coagulante	-1.185e-02	1.416e-01	-0.084	0.937	tempo	-6.375e-01	7.082e+00	-0.090	0.933	pH:coagulante	2.087e-03	2.003e-02	0.104	0.922	pH:tempo	9.688e-02	1.002e+00	0.097	0.928	coagulante:tempo	1.000e-05	3.891e-03	0.003	0.998	pH:coagulante:tempo	-7.500e-06	5.503e-04	-0.014	0.990		Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	pH	1	7.801	7.801	0.1288	0.7378	coagulante	1	3.251	3.251	0.0537	0.8281	tempo	1	0.911	0.911	0.0150	0.9083	pH:coagulante	1	6.661	6.661	0.1100	0.7568	pH:tempo	1	5.611	5.611	0.0926	0.7760	coagulante:tempo	1	0.361	0.361	0.0060	0.9421	pH:coagulante:tempo	1	0.011	0.011	0.0002	0.9898	Residuals	4	242.260	60.565		
Min	1Q	Median	3Q	Max																																																																																																																																																																																									
-9.542	-1.817	1.958	3.140	4.446																																																																																																																																																																																									
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)																																																																																																																																																																																									
(Intercept)	16.079167	17.187152	0.936	0.377																																																																																																																																																																																									
pH	0.987500	1.995720	0.495	0.634																																																																																																																																																																																									
coagulante	0.001275	0.003991	0.319	0.758																																																																																																																																																																																									
tempo	-0.033750	0.199572	-0.169	0.870																																																																																																																																																																																									
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)																																																																																																																																																																																								
pH	1	7.801	7.801	0.2448	0.6340																																																																																																																																																																																								
coagulante	1	3.251	3.251	0.1020	0.7576																																																																																																																																																																																								
tempo	1	0.911	0.911	0.0286	0.8699																																																																																																																																																																																								
Residuals	8	254.905	31.863																																																																																																																																																																																										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																																																																																																																																																																		
2.8708	2.8708	2.8708	2.8708	2.8708	2.8708	2.8708	2.8708	-9.5417	-4.4417	-0.9417	-8.0417																																																																																																																																																																																		
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)																																																																																																																																																																																									
(Intercept)	5.957e+01	2.578e+02	0.231	0.829																																																																																																																																																																																									
pH	-5.597e+00	3.646e+01	-0.154	0.885																																																																																																																																																																																									
coagulante	-1.185e-02	1.416e-01	-0.084	0.937																																																																																																																																																																																									
tempo	-6.375e-01	7.082e+00	-0.090	0.933																																																																																																																																																																																									
pH:coagulante	2.087e-03	2.003e-02	0.104	0.922																																																																																																																																																																																									
pH:tempo	9.688e-02	1.002e+00	0.097	0.928																																																																																																																																																																																									
coagulante:tempo	1.000e-05	3.891e-03	0.003	0.998																																																																																																																																																																																									
pH:coagulante:tempo	-7.500e-06	5.503e-04	-0.014	0.990																																																																																																																																																																																									
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)																																																																																																																																																																																								
pH	1	7.801	7.801	0.1288	0.7378																																																																																																																																																																																								
coagulante	1	3.251	3.251	0.0537	0.8281																																																																																																																																																																																								
tempo	1	0.911	0.911	0.0150	0.9083																																																																																																																																																																																								
pH:coagulante	1	6.661	6.661	0.1100	0.7568																																																																																																																																																																																								
pH:tempo	1	5.611	5.611	0.0926	0.7760																																																																																																																																																																																								
coagulante:tempo	1	0.361	0.361	0.0060	0.9421																																																																																																																																																																																								
pH:coagulante:tempo	1	0.011	0.011	0.0002	0.9898																																																																																																																																																																																								
Residuals	4	242.260	60.565																																																																																																																																																																																										

Apêndice 3 – Análises de AE

Área Espectral – Modelo Simples X Modelo Linear

```
lm(formula = AE ~ pH + coagulante + tempo, data = dados1)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-11.5542	-6.6167	0.4396	6.8677	10.8708

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	192.166667	27.130234	7.083	0.000104	***
pH	-15.037500	3.150280	-4.773	0.001403	**
coagulante	-0.032275	0.006301	-5.123	0.000904	***
tempo	0.351250	0.315028	1.115	0.297230	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 8.91 on 8 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.8627, Adjusted R-squared: 0.8112
F-statistic: 16.76 on 3 and 8 DF, p-value: 0.0008249

Analysis of Variance Table

Response: AE

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
pH	1	1809.01	1809.01	22.7852	0.0014025	**
coagulante	1	2083.35	2083.35	26.2406	0.0009043	***
tempo	1	98.70	98.70	1.2432	0.2972302	
Residuals	8	635.15	79.39			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
lm(formula = AE ~ pH * coagulante * tempo, data = dados1)
```

Residuals:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-1.954	-1.954	-1.954	-1.954	-1.954	-1.954	-1.954	-1.954	7.083	1.683	-1.317	8.183

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	1.618e+02	2.044e+02	0.792	0.473
pH	-7.884e+00	2.890e+01	-0.273	0.799
coagulante	-4.557e-02	1.123e-01	-0.406	0.706
tempo	-3.674e+00	5.614e+00	-0.654	0.549
pH:coagulante	2.875e-04	1.588e-02	0.018	0.986
pH:tempo	4.944e-01	7.940e-01	0.623	0.567
coagulante:tempo	3.175e-03	3.085e-03	1.029	0.362
pH:coagulante:tempo	-4.075e-04	4.363e-04	-0.934	0.403

Residual standard error: 6.17 on 4 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.9671, Adjusted R-squared: 0.9095
F-statistic: 16.79 on 7 and 4 DF, p-value: 0.008071

Analysis of Variance Table

Response: AE

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
pH	1	1809.01	1809.01	47.5249	0.002321	**
coagulante	1	2083.35	2083.35	54.7322	0.001780	**
tempo	1	98.70	98.70	2.5930	0.182625	
pH:coagulante	1	390.60	390.60	10.2616	0.032795	*
pH:tempo	1	38.28	38.28	1.0057	0.372682	
coagulante:tempo	1	20.80	20.80	0.5465	0.500794	
pH:coagulante:tempo	1	33.21	33.21	0.8725	0.403144	
Residuals	4	152.26	38.06			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Apêndice 4 – Análises de Turbidez

Turbidez – Modelo Simples X Modelo Linear

```
lm(formula = TUR ~ pH + coagulante + tempo, data = dados1)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-3.9833	-3.7333	-0.4683	4.1842	4.4917

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	87.867083	12.516084	7.020	0.00011 ***
pH	1.907500	1.453330	1.313	0.22575
coagulante	-0.004435	0.002907	-1.526	0.16557
tempo	0.052000	0.145333	0.358	0.72975

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 4.111 on 8 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.3431, Adjusted R-squared: 0.09679

F-statistic: 1.393 on 3 and 8 DF, p-value: 0.3138

```
> anova(m0.1)
```

Analysis of Variance Table

Response: TUR

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
pH	1	29.108	29.108	1.7227	0.2258
coagulante	1	39.338	39.338	2.3281	0.1656
tempo	1	2.163	2.163	0.1280	0.7298
Residuals	8	135.179	16.897		

```
lm(formula = TUR ~ pH * coagulante * tempo, data = dados1)
```

Residuals:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-2.161	-2.161	-2.161	-2.161	-2.161	-2.161	-2.161	-2.161	4.162	4.492	4.382	4.252

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	1.216e+02	1.754e+02	0.693	0.526
pH	-2.809e+00	2.480e+01	-0.113	0.915
coagulante	-2.316e-02	9.636e-02	-0.240	0.822
tempo	2.725e-01	4.818e+00	0.057	0.958
pH:coagulante	2.615e-03	1.363e-02	0.192	0.857
pH:tempo	-3.450e-02	6.814e-01	-0.051	0.962
coagulante:tempo	-1.420e-04	2.647e-03	-0.054	0.960
pH:coagulante:tempo	2.200e-05	3.744e-04	0.059	0.956

Residual standard error: 5.294 on 4 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.4552, Adjusted R-squared: -0.4983

F-statistic: 0.4774 on 7 and 4 DF, p-value: 0.8151

```
> anova(m1.1)
```

Analysis of Variance Table

Response: TUR

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
pH	1	29.108	29.108	1.0384	0.3658
coagulante	1	39.338	39.338	1.4034	0.3017
tempo	1	2.163	2.163	0.0772	0.7949
pH:coagulante	1	22.916	22.916	0.8175	0.4170
pH:tempo	1	0.013	0.013	0.0005	0.9840
coagulante:tempo	1	0.029	0.029	0.0010	0.9760
pH:coagulante:tempo	1	0.097	0.097	0.0035	0.9560
Residuals	4	112.124	28.031		

APÊNDICE D – Análise estatística do planejamento fatorial 2^3 com ponto central do tanino

Apêndice 1 – Análises de DQO

DQO – Modelo Simples X Modelo Linear

```
lm(formula = DQO ~ pH + coagulante + tempo, data = dados1)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-15.875	-9.500	-1.823	10.933	19.644

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-35.85292	30.91161	-1.160	0.280
pH	2.11437	2.64418	0.800	0.447
coagulante	0.04911	0.05288	0.929	0.380
tempo	0.52213	0.52884	0.987	0.352

Residual standard error: 14.96 on 8 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.2364, Adjusted R-squared: -0.04995

F-statistic: 0.8256 on 3 and 8 DF, p-value: 0.5158

Analysis of Variance Table

Response: DQO

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
pH	1	143.06	143.06	0.6394	0.4470
coagulante	1	192.96	192.96	0.8625	0.3802
tempo	1	218.09	218.09	0.9748	0.3524
Residuals	8	1789.87	223.73		

```
lm(formula = DQO ~ pH * coagulante * tempo, data = dados1)
```

Residuals:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-6.735	-6.735	-6.735	-6.735	-6.735	-6.735	-6.735	-6.735	19.644	16.314	13.004	4.914

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-35.349792	257.429443	-0.137	0.897
pH	9.409375	35.364011	0.266	0.803
coagulante	0.220109	0.814141	0.270	0.800
tempo	1.683375	7.072802	0.238	0.824
pH:coagulante	-0.048984	0.111831	-0.438	0.684
pH:tempo	-0.376375	0.971524	-0.387	0.718
coagulante:tempo	-0.008804	0.022366	-0.394	0.714
pH:coagulante:tempo	0.001959	0.003072	0.638	0.558

Residual standard error: 17.38 on 4 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.4846, Adjusted R-squared: -0.4174

F-statistic: 0.5372 on 7 and 4 DF, p-value: 0.7779

Analysis of Variance Table

Response: DQO

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
pH	1	143.06	143.06	0.4736	0.5291
coagulante	1	192.96	192.96	0.6389	0.4689
tempo	1	218.09	218.09	0.7221	0.4433
pH:coagulante	1	122.85	122.85	0.4068	0.5583
pH:tempo	1	143.06	143.06	0.4736	0.5291
coagulante:tempo	1	192.96	192.96	0.6389	0.4689
pH:coagulante:tempo	1	122.85	122.85	0.4068	0.5583
Residuals	4	1208.14	302.04		

Apêndice 2 – Análises de COT

COT – Modelo Simples X Modelo Linear

<pre>lm(formula = COT ~ pH + coagulante + tempo, data = dados1)</pre> <p>Residuals:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Min</th> <th>1Q</th> <th>Median</th> <th>3Q</th> <th>Max</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-8.525</td> <td>-5.062</td> <td>-1.500</td> <td>6.975</td> <td>9.150</td> </tr> </tbody> </table> <p>Coefficients:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Estimate</th> <th>Std. Error</th> <th>t value</th> <th>Pr(> t)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(Intercept)</td> <td>-17.15000</td> <td>16.86551</td> <td>-1.017</td> <td>0.339</td> </tr> <tr> <td>pH</td> <td>1.18750</td> <td>1.44267</td> <td>0.823</td> <td>0.434</td> </tr> <tr> <td>coagulante</td> <td>0.02375</td> <td>0.02885</td> <td>0.823</td> <td>0.434</td> </tr> <tr> <td>tempo</td> <td>0.22750</td> <td>0.28853</td> <td>0.788</td> <td>0.453</td> </tr> </tbody> </table> <p>Residual standard error: 8.161 on 8 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.1981, Adjusted R-squared: -0.1026 F-statistic: 0.6589 on 3 and 8 DF, p-value: 0.5999</p>	Min	1Q	Median	3Q	Max	-8.525	-5.062	-1.500	6.975	9.150		Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	(Intercept)	-17.15000	16.86551	-1.017	0.339	pH	1.18750	1.44267	0.823	0.434	coagulante	0.02375	0.02885	0.823	0.434	tempo	0.22750	0.28853	0.788	0.453	<pre>lm(formula = COT ~ pH * coagulante * tempo, data = dados1)</pre> <p>Residuals:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> <th>11</th> <th>12</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-3.875</td> <td>-3.875</td> <td>-3.875</td> <td>-3.875</td> <td>-3.875</td> <td>-3.875</td> <td>-3.875</td> <td>-3.875</td> <td>7.050</td> <td>7.850</td> <td>6.950</td> <td>9.150</td> </tr> </tbody> </table> <p>Coefficients:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Estimate</th> <th>Std. Error</th> <th>t value</th> <th>Pr(> t)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(Intercept)</td> <td>-24.062500</td> <td>141.200726</td> <td>-0.170</td> <td>0.873</td> </tr> <tr> <td>pH</td> <td>5.587500</td> <td>19.397253</td> <td>0.288</td> <td>0.788</td> </tr> <tr> <td>coagulante</td> <td>0.139687</td> <td>0.446558</td> <td>0.313</td> <td>0.770</td> </tr> <tr> <td>tempo</td> <td>1.137500</td> <td>3.879451</td> <td>0.293</td> <td>0.784</td> </tr> <tr> <td>pH:coagulante</td> <td>-0.027937</td> <td>0.061339</td> <td>-0.455</td> <td>0.672</td> </tr> <tr> <td>pH:tempo</td> <td>-0.227500</td> <td>0.532884</td> <td>-0.427</td> <td>0.691</td> </tr> <tr> <td>coagulante:tempo</td> <td>-0.005687</td> <td>0.012268</td> <td>-0.464</td> <td>0.667</td> </tr> <tr> <td>pH:coagulante:tempo</td> <td>0.001137</td> <td>0.001685</td> <td>0.675</td> <td>0.537</td> </tr> </tbody> </table> <p>Residual standard error: 9.533 on 4 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.453, Adjusted R-squared: -0.5043 F-statistic: 0.4732 on 7 and 4 DF, p-value: 0.8177</p>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	-3.875	-3.875	-3.875	-3.875	-3.875	-3.875	-3.875	-3.875	7.050	7.850	6.950	9.150		Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	(Intercept)	-24.062500	141.200726	-0.170	0.873	pH	5.587500	19.397253	0.288	0.788	coagulante	0.139687	0.446558	0.313	0.770	tempo	1.137500	3.879451	0.293	0.784	pH:coagulante	-0.027937	0.061339	-0.455	0.672	pH:tempo	-0.227500	0.532884	-0.427	0.691	coagulante:tempo	-0.005687	0.012268	-0.464	0.667	pH:coagulante:tempo	0.001137	0.001685	0.675	0.537
Min	1Q	Median	3Q	Max																																																																																																					
-8.525	-5.062	-1.500	6.975	9.150																																																																																																					
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)																																																																																																					
(Intercept)	-17.15000	16.86551	-1.017	0.339																																																																																																					
pH	1.18750	1.44267	0.823	0.434																																																																																																					
coagulante	0.02375	0.02885	0.823	0.434																																																																																																					
tempo	0.22750	0.28853	0.788	0.453																																																																																																					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																																																																														
-3.875	-3.875	-3.875	-3.875	-3.875	-3.875	-3.875	-3.875	7.050	7.850	6.950	9.150																																																																																														
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)																																																																																																					
(Intercept)	-24.062500	141.200726	-0.170	0.873																																																																																																					
pH	5.587500	19.397253	0.288	0.788																																																																																																					
coagulante	0.139687	0.446558	0.313	0.770																																																																																																					
tempo	1.137500	3.879451	0.293	0.784																																																																																																					
pH:coagulante	-0.027937	0.061339	-0.455	0.672																																																																																																					
pH:tempo	-0.227500	0.532884	-0.427	0.691																																																																																																					
coagulante:tempo	-0.005687	0.012268	-0.464	0.667																																																																																																					
pH:coagulante:tempo	0.001137	0.001685	0.675	0.537																																																																																																					
<p>Analysis of Variance Table</p> <p>Response: COT</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Df</th> <th>Sum Sq</th> <th>Mean Sq</th> <th>F value</th> <th>Pr(>F)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>pH</td> <td>1</td> <td>45.12</td> <td>45.125</td> <td>0.6775</td> <td>0.4343</td> </tr> <tr> <td>coagulante</td> <td>1</td> <td>45.12</td> <td>45.125</td> <td>0.6775</td> <td>0.4343</td> </tr> <tr> <td>tempo</td> <td>1</td> <td>41.41</td> <td>41.405</td> <td>0.6217</td> <td>0.4532</td> </tr> <tr> <td>Residuals</td> <td>8</td> <td>532.82</td> <td>66.602</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	pH	1	45.12	45.125	0.6775	0.4343	coagulante	1	45.12	45.125	0.6775	0.4343	tempo	1	41.41	41.405	0.6217	0.4532	Residuals	8	532.82	66.602			<p>Analysis of Variance Table</p> <p>Response: COT</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Df</th> <th>Sum Sq</th> <th>Mean Sq</th> <th>F value</th> <th>Pr(>F)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>pH</td> <td>1</td> <td>45.12</td> <td>45.125</td> <td>0.4966</td> <td>0.5199</td> </tr> <tr> <td>coagulante</td> <td>1</td> <td>45.12</td> <td>45.125</td> <td>0.4966</td> <td>0.5199</td> </tr> <tr> <td>tempo</td> <td>1</td> <td>41.41</td> <td>41.405</td> <td>0.4557</td> <td>0.5367</td> </tr> <tr> <td>pH:coagulante</td> <td>1</td> <td>45.12</td> <td>45.125</td> <td>0.4966</td> <td>0.5199</td> </tr> <tr> <td>pH:tempo</td> <td>1</td> <td>41.41</td> <td>41.405</td> <td>0.4557</td> <td>0.5367</td> </tr> <tr> <td>coagulante:tempo</td> <td>1</td> <td>41.41</td> <td>41.405</td> <td>0.4557</td> <td>0.5367</td> </tr> <tr> <td>pH:coagulante:tempo</td> <td>1</td> <td>41.40</td> <td>41.405</td> <td>0.4557</td> <td>0.5367</td> </tr> <tr> <td>Residuals</td> <td>4</td> <td>363.48</td> <td>90.869</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	pH	1	45.12	45.125	0.4966	0.5199	coagulante	1	45.12	45.125	0.4966	0.5199	tempo	1	41.41	41.405	0.4557	0.5367	pH:coagulante	1	45.12	45.125	0.4966	0.5199	pH:tempo	1	41.41	41.405	0.4557	0.5367	coagulante:tempo	1	41.41	41.405	0.4557	0.5367	pH:coagulante:tempo	1	41.40	41.405	0.4557	0.5367	Residuals	4	363.48	90.869																						
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)																																																																																																				
pH	1	45.12	45.125	0.6775	0.4343																																																																																																				
coagulante	1	45.12	45.125	0.6775	0.4343																																																																																																				
tempo	1	41.41	41.405	0.6217	0.4532																																																																																																				
Residuals	8	532.82	66.602																																																																																																						
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)																																																																																																				
pH	1	45.12	45.125	0.4966	0.5199																																																																																																				
coagulante	1	45.12	45.125	0.4966	0.5199																																																																																																				
tempo	1	41.41	41.405	0.4557	0.5367																																																																																																				
pH:coagulante	1	45.12	45.125	0.4966	0.5199																																																																																																				
pH:tempo	1	41.41	41.405	0.4557	0.5367																																																																																																				
coagulante:tempo	1	41.41	41.405	0.4557	0.5367																																																																																																				
pH:coagulante:tempo	1	41.40	41.405	0.4557	0.5367																																																																																																				
Residuals	4	363.48	90.869																																																																																																						

Apêndice 3 – Análises de AE

Área Espectral – Modelo Simples X Modelo Linear

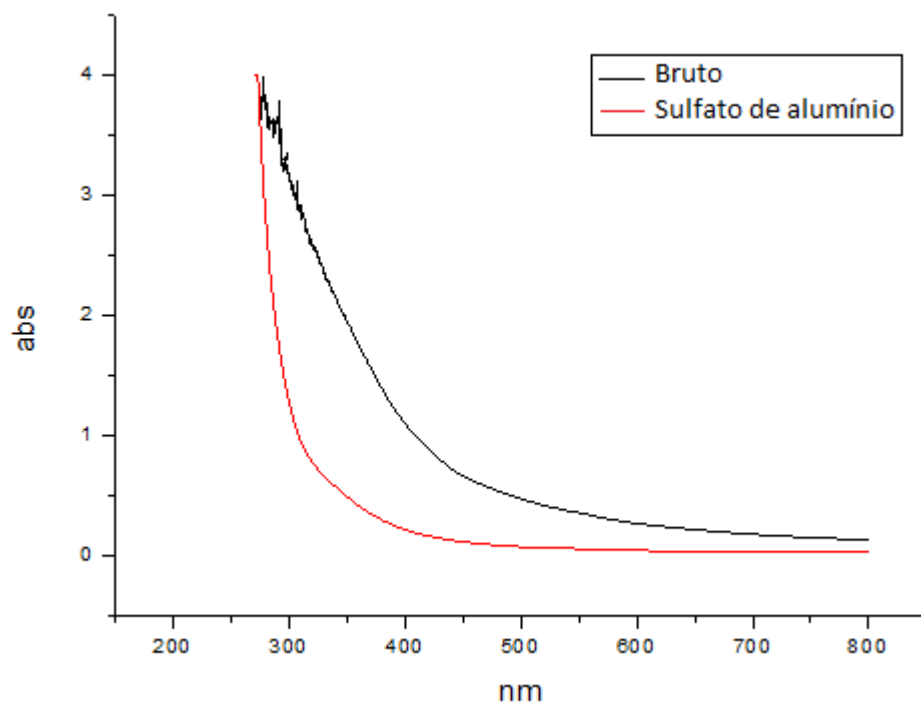
<pre>lm(formula = AE ~ pH + coagulante + tempo, data = dados1) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -11.388 -8.704 -7.519 13.893 23.303 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) -30.97583 31.50893 -0.983 0.35436 pH 12.96937 2.69527 4.812 0.00134 ** coagulante 0.02776 0.05391 0.515 0.62046 tempo 0.05938 0.53905 0.110 0.91501 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 Residual standard error: 15.25 on 8 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.7455, Adjusted R-squared: 0.65 F-statistic: 7.811 on 3 and 8 DF, p-value: 0.009213</pre>	<pre>lm(formula = AE ~ pH * coagulante * tempo, data = dados1) Residuals: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 -8.575 -8.575 -8.575 -8.575 -8.575 -8.575 -8.575 -8.575 14.703 16.973 23.303 13.623 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) -9.329e+01 3.161e+02 -0.295 0.783 pH 2.091e+01 4.342e+01 0.482 0.655 coagulante 2.786e-01 9.996e-01 0.279 0.794 tempo 1.616e+00 8.684e+00 0.186 0.861 pH:coagulante -3.263e-02 1.373e-01 -0.238 0.824 pH:tempo -1.949e-01 1.193e+00 -0.163 0.878 coagulante:tempo -6.421e-03 2.746e-02 -0.234 0.827 pH:coagulante:tempo 8.256e-04 3.772e-03 0.219 0.837 Residual standard error: 21.34 on 4 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.7507, Adjusted R-squared: 0.3146 F-statistic: 1.721 on 7 and 4 DF, p-value: 0.3135</pre>
<pre>Analysis of Variance Table Response: AE Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) pH 1 5382.6 5382.6 23.1544 0.001335 ** coagulante 1 61.7 61.7 0.2652 0.620462 tempo 1 2.8 2.8 0.0121 0.915006 Residuals 8 1859.7 232.5 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1</pre>	<pre>Analysis of Variance Table Response: AE Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) pH 1 5382.6 5382.6 11.8218 0.02633 * coagulante 1 61.7 61.7 0.1354 0.73152 tempo 1 2.8 2.8 0.0062 0.94105 pH:coagulante 1 4.5 4.5 0.0098 0.92596 pH:tempo 1 8.9 8.9 0.0196 0.89542 coagulante:tempo 1 3.3 3.3 0.0072 0.93635 pH:coagulante:tempo 1 21.8 21.8 0.0479 0.83746 Residuals 4 1821.2 455.3 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1</pre>

Apêndice 4 – Análises de Turbidez

Turbidez – Modelo Simples X Modelo Linear

<pre>lm(formula = TUR ~ pH + coagulante + tempo, data = dados1) Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -1.14083 -0.56833 -0.05083 0.36917 1.98917 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) 92.875833 2.211200 42.002 1.14e-10 *** pH -0.085000 0.189146 -0.449 0.6651 coagulante 0.008900 0.003783 2.353 0.0465 * tempo 0.044000 0.037829 1.163 0.2783 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 Residual standard error: 1.07 on 8 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.4698, Adjusted R-squared: 0.271 F-statistic: 2.363 on 3 and 8 DF, p-value: 0.1471</pre>	<pre>lm(formula = TUR ~ pH * coagulante * tempo, data = dados1) Residuals: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 -0.1208 -0.1208 -0.1208 -0.1208 -0.1208 -0.1208 -0.1208 -0.1208 -0.2908 -1.0108 1.9892 0.2792 Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) 80.1358333 16.9826505 4.719 0.00918 ** pH 2.3800000 2.3329679 1.020 0.36533 coagulante 0.0542250 0.0537090 1.010 0.36980 tempo 0.4470000 0.4665936 0.958 0.39231 pH:coagulante -0.0086250 0.0073775 -1.169 0.30728 pH:tempo -0.0760000 0.0640916 -1.186 0.30133 coagulante:tempo -0.0014250 0.0014755 -0.966 0.38885 pH:coagulante:tempo 0.0002650 0.0002027 1.308 0.26113 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 Residual standard error: 1.147 on 4 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.6956, Adjusted R-squared: 0.163 F-statistic: 1.306 on 7 and 4 DF, p-value: 0.4201</pre>
<p>Analysis of Variance Table</p> <pre>Response: TUR Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) pH 1 0.2312 0.2312 0.2020 0.66508 coagulante 1 6.3368 6.3368 5.5351 0.04649 * tempo 1 1.5488 1.5488 1.3529 0.27830 Residuals 8 9.1587 1.1448 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1</pre>	<p>Analysis of Variance Table</p> <pre>Response: TUR Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) pH 1 0.2312 0.2312 0.1759 0.69648 coagulante 1 6.3368 6.3368 4.8208 0.09311 . tempo 1 1.5488 1.5488 1.1783 0.33875 pH:coagulante 1 0.1352 0.1352 0.1029 0.76449 pH:tempo 1 0.0392 0.0392 0.0298 0.87128 coagulante:tempo 1 1.4792 1.4792 1.1253 0.34858 pH:coagulante:tempo 1 2.2472 2.2472 1.7096 0.26113 Residuals 4 5.2579 1.3145 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1</pre>

APÊNDICE E – Representação gráfico da área espectral do teste de verificação dos tratamentos de sulfato de alumínio e tanino

A) Gráfico da AE do tratamento com sulfato de alumínio**B) Gráfico da AE do tratamento com tanino**