

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

MARCOS CORDEIRO MOREIRA

**AVALIAÇÃO DO USO DE COAGULANTES ORGÂNICOS E INORGÂNICOS PARA
TRATAMENTO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE TINTAS**

LONDRINA

2022

MARCOS CORDEIRO MOREIRA

**AVALIAÇÃO DO USO DE COAGULANTES ORGÂNICOS E INORGÂNICOS PARA
TRATAMENTO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE TINTAS**

**EVALUATION OF ORGANIC AND INORGANIC COAGULANTS USE ON PAINT
INDUSTRY WASTEWATER TREATMENT**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Ambiental, da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR)

Orientadora: Profa. Dra. Joseane Debora
Peruço Theodoro.

LONDRINA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

MARCOS CORDEIRO MOREIRA

**AVALIAÇÃO DO USO DE COAGULANTES ORGÂNICOS E INORGÂNICOS PARA
TRATAMENTO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE TINTAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 23/Junho/2022

Prof. Dr. Ajadir Fazolo
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Prof. Dr. Rafael Montanhini Soares de Oliveira
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Profa. Dra. Joseane Débora Peruço Theodoro
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
Orientadora

**LONDRINA
2022**

AGRADECIMENTOS

Dedico esse trabalho e agradeço primeiramente à minha família, Eliane, Marcelo, Marcelle, Matheus, Leopoldina e Octaviano (in memoriam), meu suporte ao longo de toda a graduação e alento nos momentos de dificuldade. Sem vocês esse sonho não seria possível.

Agradeço a Ana Kaori Fugarra pelo apoio incondicional, paciência e dedicação com os quais acompanhou minha trajetória até esse momento.

Aos meus tantos colegas que compartilharam a rotina universitária comigo, não posso deixar de mencionar Caio Barreto, Felipe Elias, Gabriel Shindi e Thiago Henrique da Silva, com quem aprendi e cresci muito.

À minha orientadora Profa. Joseane Debora Peruço Theodoro, pessoa e profissional em quem me inspiro, pelos conselhos e pela atenção dedicada a mim nesse ano de trabalhos intensos.

À equipe da empresa na qual desenvolvi estágio, por todo aprendizado, Cleuber Moraes, Edilene Sarge e Arthur Malaguti. Em especial Raissa Moda, pelo incentivo a confiar no meu trabalho.

À empresa parceira na realização deste Trabalho, pela abertura e transparência no fornecimento de todas as informações e materiais necessários.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, firme na sua missão de oferecer ensino público, gratuito e de qualidade.

“O acesso à água potável e segura é um direito humano essencial, fundamental e universal, porque determina a sobrevivência das pessoas e, portanto, é condição para o exercício dos outros direitos humanos.”

Papa Francisco

RESUMO

O tratamento de efluentes provenientes das atividades industriais tem evoluído à medida que surgem novas demandas por soluções capazes de tornar os processos mais eficientes e sustentáveis. Este trabalho tem como objetivo comparar a eficácia de três coagulantes de naturezas distintas – dois orgânicos, um a base de *Moringa oleifera* e outro derivado de taninos vegetais, e um inorgânico, sulfato de alumínio – quando aplicados ao efluente de indústria de tintas, monitorando os parâmetros pH, Cor aparente, Turbidez, Condutividade elétrica, Sólidos Dissolvidos Totais e Demanda Química de Oxigênio – DQO nos efluentes bruto e tratado. O desenvolvimento do trabalho é fundamentado no estudo de caso de uma indústria de tintas situada no município de Maringá/PR, da qual serão obtidos os materiais e informações necessárias para realização do projeto. Para realização dos ensaios de coagulação, floculação e sedimentação foi realizada análise prévia do efluente bruto nos mesmos parâmetros da análise final. Os ensaios do efluente tratado foram realizados variando concentração dos coagulantes e tempo de sedimentação, em três níveis e em duplicata, totalizando 18 ensaios para cada coagulante. Os pré-ensaios determinaram que a faixa ótima de concentração para aplicação dos coagulantes são de 100, 110 e 120 mL/L para o Tanfloc, 80, 90 e 100 mL/L para a *Moringa oleifera* e 25, 35 e 45 mL/L para o Sulfato de alumínio. O Tanfloc obteve melhores resultados, em média, para os parâmetros Cor aparente, Sólidos Dissolvidos Totais e DQO. O Sulfato de alumínio obteve melhores resultados, em média, para Turbidez. A *Moringa oleifera*, por sua vez, obteve melhores resultados para pH e condutividade elétrica. Pode-se dizer, portanto, que os coagulantes orgânicos tiveram resultados bastante satisfatórios em comparação ao Sulfato de alumínio, mais comumente utilizado, e podem servir de embasamento para a indústria objeto do estudo no aprimoramento de seu processo de tratamento de efluentes.

Palavras-chave: Coagulantes orgânicos; Tratamento de efluentes; Indústria de tintas

ABSTRACT

The treatment of effluents from industrial activities has evolved as new demands arise for solutions capable of making the processes more efficient and sustainable. This paper aims to compare the effectiveness of three coagulants of different natures - two organic, one based on *Moringa oleifera* and another derived from vegetable tannins, and an inorganic, aluminum sulfate - when applied to the effluent from paint industry, monitoring the parameters pH, Color, Turbidity, Electrical Conductivity, Total Dissolved Solids and Chemical Oxygen Demand - COD in raw and treated effluent. The development of the work is based on the case study of a paint industry located in the city of Maringá/PR, from which the materials and information necessary to carry out the project will be obtained. To perform the coagulation, flocculation, and sedimentation tests, a previous analysis of the raw effluent was performed on the same parameters of the final analysis. The treated effluent tests were performed varying coagulant concentration and sedimentation time, in three levels and in duplicate, totaling 18 samples for each coagulant. The pre-tests determined that the optimal range of concentration for application of the coagulants are 100, 110 and 120 mL/L for Tanfloc, 80, 90 and 100 mL/L for *Moringa oleifera* and 25, 35 and 45 mL/L for Aluminum Sulfate. Tanfloc obtained better results on average for the parameters Color, Total Dissolved Solids and COD. Aluminum Sulfate obtained better results, on average, for Turbidity. *Moringa oleifera*, in turn, obtained better results for pH and electrical conductivity. It can be said, therefore, that the organic coagulants had very satisfactory results when compared to aluminum sulfate, the most commonly used, and can serve as a basis for the industry studied in the improvement of its effluent treatment process.

Keywords: Coagulants, organic; Effluent treatment; Paint industry

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Fluxograma do processo produtivo de tintas imobiliárias à base de água, seus resíduos e pontos de geração de efluentes.	17
FIGURA 2 - Processo produtivo de tintas à base de solvente, seus resíduos e pontos de geração de efluentes	18
FIGURA 3 - Processos físicos, químicos e biológicos do tratamento de efluentes da indústria de tintas.	22
FIGURA 4 - Processo de tratamento primário utilizando-se os métodos de coagulação, floculação e sedimentação	24
FIGURA 5 - Fluxograma do processo metodológico a ser aplicado	30
FIGURA 6 - Mapa de localização do município de Maringá/PR	31
FIGURA 7 - Processo produtivo da indústria objeto do estudo	33
FIGURA 8 - Processo de tratamento do efluente na indústria.	36
FIGURA 9 - Cor (% de remoção após aplicação dos coagulantes).....	44
FIGURA 10 - Turbidez (NTU) após aplicação dos coagulantes	46
FIGURA 11 - Condutividade elétrica (mS/cm) após aplicação dos coagulantes	48
FIGURA 12 - pH após aplicação dos coagulantes	50
FIGURA 13 - Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) após aplicação dos coagulantes.....	52
FIGURA 14 - Demanda Química de Oxigênio - DQO após aplicação dos coagulantes (mg/L).....	54
FIGURA 15 - Demanda Química de Oxigênio - DQO após aplicação dos coagulantes (% de remoção).....	55

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Santana et. al. (2020). Comparação entre eficiências de remoção entre a semente de Moringa oleifera e sulfato de alumínio.....	26
TABELA 2 - Faixa experimental e níveis dos fatores estudados para os coagulantes orgânico e inorgânico.	38
TABELA 3 - Distribuição dos ensaios em relação à análise fatorial	39
TABELA 4 - Gradiente de rotação das hastes misturadoras e tempo de ação	40
TABELA 5 - Parâmetros da amostra bruta	42

LISTA DE ABREVIATURAS

Abs – Absorbância

cm – Centímetros

min – Minutos

mL – Mililitros

mS – Microsiemens

NTU – Unidade de Turbidez Nefelométrica (sigla em inglês)

pH – Potencial hidrogeniônico

ppm – Partículas por milhão

PtCo – Escala de Platina-cobalto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo geral.....	14
2.2	Objetivos específicos.....	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
3.1	A tinta e seu processo produtivo	15
3.2	Características físicas e químicas de efluentes industriais	19
3.3	Contaminação da água por efluentes da indústria de tinta	20
3.4	Tratamento de efluentes da indústria de tinta.....	21
3.4.1	Coagulação e floculação	23
3.4.2	Sedimentação	23
3.4.3	Coagulantes para o tratamento primário de efluentes industriais.....	24
3.5	Legislação referente ao tratamento e lançamento de efluentes industriais	27
4	MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1	Caracterização da indústria objeto do estudo	31
4.1.1	Processo produtivo da indústria	31
4.1.2	O efluente gerado pela indústria	33
4.1.3	O processo de tratamento do efluente industrial	34
4.2	Amostragem do efluente bruto	36
4.3	Preparação das soluções de coagulantes	37
4.4	Ensaio de coagulação, floculação e sedimentação.....	38
4.4.1	Pré-ensaios	38
4.4.2	Realização dos experimentos e planejamento fatorial.....	39

4.5	Metodologias para análise dos parâmetros do efluente tratado.....	40
4.6	Cálculo de eficiência de remoção.....	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
5.1	Caracterização da amostra bruta.....	42
5.2	Cor Aparente.....	44
5.3	Turbidez.....	46
5.4	Condutividade elétrica.....	48
5.5	pH.....	50
5.6	Sólidos Dissolvidos Totais – SDT.....	52
5.7	Demanda Química de Oxigênio – DQO.....	54
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
7	REFERÊNCIAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

O tratamento de efluentes provenientes das atividades industriais tem evoluído à medida que surgem novas demandas por soluções capazes de tornar os processos mais eficientes e sustentáveis (GUEDES, 2018).

Os processos de coagulação, floculação e sedimentação, por exemplo, têm acompanhado os avanços na busca por métodos e substâncias que venham a substituir aqueles utilizados tradicionalmente (SILVA, 2016).

Um exemplo proeminente é o de coagulantes orgânicos à base de extratos vegetais, cujos estudos têm se mostrado bastante satisfatórios na correção de parâmetros importantes dos efluentes e diminuição de sua capacidade poluidora (SANTANA et al., 2020).

Esta busca constante por soluções se justifica. No ano de 2015, o setor industrial utilizou cerca de 192 m³/s de água no Brasil (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA, 2017), valor que tem aumentado e diminuído ao longo dos anos de acordo com a própria intensidade da atividade industrial do País. Deste montante, foram efetivamente consumidos cerca de 105 m³/s, equivalente a 55% do total retirado.

Informações como essa sugerem um cenário de grande volume gerado de efluentes industriais, os quais apresentam, de modo geral, acentuada capacidade poluidora (VERMA; DASH; BHUNIA, 2012).

Um dos setores que geram grande quantidade de efluentes é a indústria de tintas, que tem apresentado exponencial crescimento nos últimos anos (a despeito dos efeitos negativos provocados pela pandemia do Sars-Cov-2). O setor apresentou crescimento de 3,5% do ano de 2019 a 2020, representando um total de 1,6 bilhão de litros de tinta produzidos (ABRAFATI, 2020).

Nesse contexto, os efluentes de indústrias de tinta têm recebido especial atenção, fator em parte explicado pelo fortalecimento econômico do setor, mas sobretudo por apresentar características bastante particulares e alta carga poluidora. (SANTANA et al., 2020).

Isso posto, o presente trabalho tem como objetivo comparar a eficácia de três coagulantes de naturezas distintas – dois orgânicos, um a base de *Moringa oleifera* e outro derivado de tanino vegetal (Tanfloc®), e um inorgânico, sulfato de alumínio – quando aplicados ao efluente de indústria de tintas, monitorando os parâmetros pH, Cor, Turbidez, Condutividade elétrica, Sólidos Dissolvidos Totais e Demanda Química de Oxigênio – DQO nos efluentes bruto e tratado.

O desenvolvimento do trabalho é fundamentado no estudo de caso de uma indústria de tintas situada no município de Maringá, Estado do Paraná, da qual serão obtidos os materiais e informações necessárias para realização do projeto.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar a eficácia dos coagulantes sulfato de alumínio, extrato da semente de *Moringa oleifera* e Tanfloc® (TANAC S.A.; Rua T. Weibull 199 – Montenegro/RS; Brasil) para o tratamento de efluente de indústria de tintas, bem como compará-los em relação à dosagem ótima de aplicação e tempo de agitação necessários.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar os parâmetros pH, Cor aparente, Turbidez, Condutividade elétrica, Sólidos Dissolvidos Totais e Demanda Química de Oxigênio – DQO antes e após a aplicação dos coagulantes;
- Comparar a eficiência e indicar os efeitos decorrentes da escolha de um ou outro coagulante;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A tinta e seu processo produtivo

A tinta constitui uma substância de viscosidade característica, constituída de um ou mais pigmentos dispersos em um aglomerante líquido que, quando estendido em película fina e submetido a um processo de cura, forma um filme aderido ao substrato, podendo ser uma parede, um veículo, uma máquina industrial ou outra entre suas inúmeras aplicações. (FAZENDA, 2009).

Em geral, a tinta pode ser considerada uma mistura entre um componente volátil, como solventes orgânicos ou água, e uma fração sólida, que forma um filme opaco e coeso ao substrato. Essa mistura é estável e a combinação entre os elementos sólidos e voláteis define propriedades importantes para o produto final, como resistência, aspecto, forma de aplicação e seus custos. (CETESB, 2006).

Além disso, a produção dos diversos tipos de tintas é realizada a partir de matérias primas básicas, sendo elas:

- **Pigmentos:** são parte da fração sólida da tinta, cuja função é conferir cor, opacidade e poder de cobertura ao produto final. São insolúveis no meio e, após o processo produtivo, encontram-se em partículas divididas entre si e dispersas homogeneamente (NASCIMENTO, 2013).

Segundo Fazenda (2009) há ainda uma classe de pigmentos de origem mineral, também denominados de cargas, que são responsáveis por garantir dureza, lixabilidade e consistência à tinta.

- **Resinas:** são responsáveis pelas características físico-químicas da tinta, que determinam a capacidade de resistência a intempéries, tempo e forma de secagem, aderência e brilho. Por este motivo, é o componente que mais exerce influência sobre a formação do filme e sobre a coesão dos pigmentos à fração volátil da tinta. As resinas podem ser de origem natural ou sintetizadas em laboratório (CETESB, 2006; NASCIMENTO, 2013).
- **Aditivos:** são substâncias que compõem uma pequena fração da mistura, geralmente não excedendo 5% da totalidade dos componentes (NASCIMENTO, 2013). Todavia, desempenham funções

importantíssimas para a qualidade e durabilidade do produto final, como proteção à corrosão, bloqueadores de radiação infravermelho, estabilidade, entre outros (CETESB, 2006; NASCIMENTO, 2013).

- **Solvente:** são os compostos voláteis determinantes do aspecto líquido do produto. Os solventes evaporam gradativamente quando da aplicação da tinta, deixando um filme seco e estável sobre o substrato. Os solventes são responsáveis tanto pela solubilização da resina, cujas funções são descritas no corpo deste tópico, como pelo aspecto viscoso da tinta e, por conseguinte, sua facilidade de aplicação e cobertura do substrato (CETESB, 2006; NASCIMENTO, 2013).

As tintas podem ser fabricadas à base de água ou à base de solventes orgânicos. Seu processo produtivo, bem como a dosagem e características de seus componentes, varia de acordo com a finalidade do produto (CETESB, 2006).

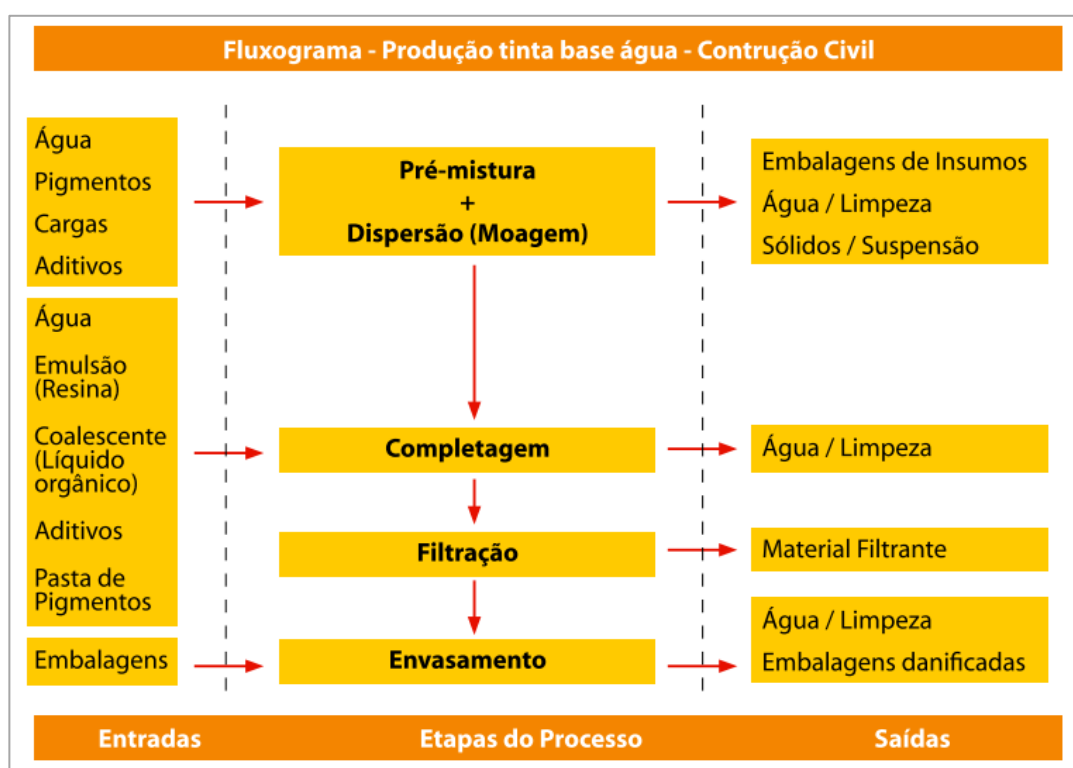
As tintas imobiliárias à base de água, utilizadas em larga escala na indústria da construção civil, seguem o seguinte fluxograma produtivo:

- **Separação e pesagem de matérias-primas:** seleção dos componentes que serão matérias-primas para fabricação do produto e pesagem dos mesmos. Esta etapa ocorre seguindo à risca a formulação adequada do produto final desejado.
- **Pré-mistura e dispersão:** etapa na qual ocorre mistura da água, pigmentos (incluindo cargas), aditivos em um tanque com agitação pré-determinada pela formulação do produto. Neste momento, também ocorre dispersão dos pigmentos, isto é, sua distribuição uniforme ao longo de todas as frações do produto.
- **Completagem:** também realizada em um tanque provido de agitação, esta etapa tem como objetivo realizar as correções de cor, composição, viscosidade e demais características que estejam em desacordo com as especificações do produto.
- **Filtração e envase:** etapa que ocorre em dois momentos, na qual inicialmente o produto final é filtrado a fim de garantir que partículas maiores (que não foram devidamente dispersas) sejam retiradas, e logo

em seguida é envasado, evitando contaminação do mesmo por agentes externos (CETESB, 2006; NASCIMENTO, 2013).

A Figura 1 ilustra o fluxograma processo produtivo de tintas imobiliárias à base de água, bem como seus resíduos. Os pontos de geração de efluentes são identificados como “Água/Limpeza”, uma vez que os efluentes são oriundos da limpeza dos equipamentos industriais.

FIGURA 1 - Fluxograma do processo produtivo de tintas imobiliárias à base de água, seus resíduos e pontos de geração de efluentes.

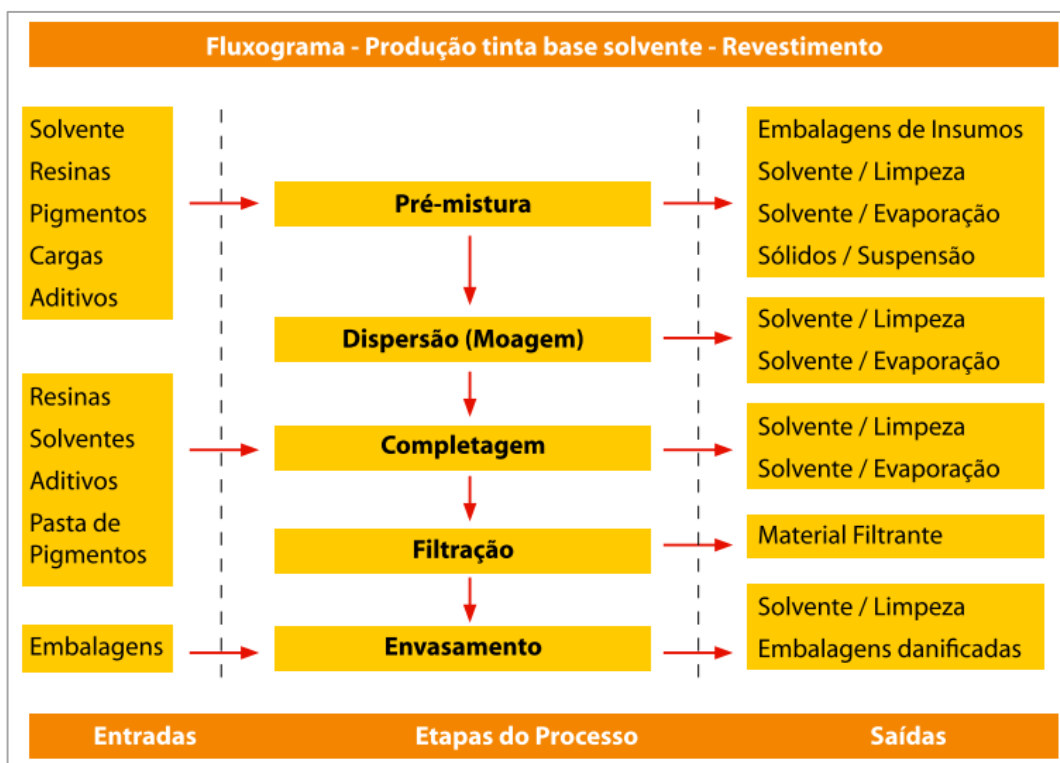


Fonte: (CETESB, 2006)

As tintas fabricadas à base de solventes, por sua vez, apresentam processo produtivo semelhante, sendo que, em geral, nesses processos a etapa de dispersão é realizada em equipamento distinto da etapa de pré-mistura (FAZENDA, 2009; NASCIMENTO, 2013).

A Figura 2 ilustra o processo produtivo de tintas à base de solvente, bem como seus resíduos e pontos de geração de efluentes.

FIGURA 2 - Processo produtivo de tintas à base de solvente, seus resíduos e pontos de geração de efluentes



Fonte: (CETESB, 2006).

Nesse contexto, há um esforço de comunidades e entidades civis em prol do consumo de tintas fabricadas à base de água, bem como o aumento do teor de sólidos e desenvolvimento de tintas em pó. Essas medidas têm como objetivo diminuir o uso de solventes orgânicos (SANTANA et al., 2020).

Segundo Santana et al. (2020), o processo de fabricação das tintas envolve etapas e processos em sequência que tendem a gerar grande volume de efluente, o qual demanda tratamento específico por apresentarem características de alta concentração de sólidos e matéria orgânica, altos valores de cor e, em alguns casos, concentrações de produtos perigosos como solventes orgânicos e metais pesados.

Em estudos de caso, estimativa realizada por Vieira (2017) indica que cerca de 13% da água utilizada no processo produtivo de tintas se torna efluente bruto, ou seja, aquele que deve ser tratado para posterior reuso ou destinação. Custódio (2014), em estimativa semelhante, aponta resultados entre 11% e 23% na geração de efluente bruto em relação ao consumo total de água.

Em contrapartida, Guedes (2018) aponta que, em alguns casos, o volume de efluente gerado pode ainda ser superior à água empregada como matéria-prima no produto final.

3.2 Características físicas e químicas de efluentes industriais

Em geral, os efluentes industriais são caracterizados por serem altamente poluentes, sendo necessário seu devido tratamento antes que retornem ao meio ambiente, de modo que contribuam para a produção de água limpa ou pelo menos reutilizável (IBRAHIN, F.I. D., IBRAHIN, F. J., & CANTUÁRIA, 2015).

Nesse contexto, surge a necessidade de se monitorar os parâmetros que garantam – ou refutem – a qualidade do efluente antes que o mesmo seja destinado ou reutilizado. Os principais parâmetros de monitoramento de efluentes industriais, em especial aqueles característicos das indústrias de tinta, são:

- **Turbidez:** A turbidez ocorre devido à ocorrência de substâncias em suspensão no efluente, isto é, partículas sólidas de tamanho reduzido ou coloidais. Esse parâmetro é estreitamente associado à transparência, uma vez que quanto maior a concentração de partículas suspensas, menos translúcido é o efluente. A unidade de medição para turbidez é a Unidade Nefelométrica de Turbidez - NTU, na sigla em inglês (IBRAHIN, F.I. D., IBRAHIN, F. J., & CANTUÁRIA, 2015).
- **Cor:** Esse parâmetro, no âmbito dos efluentes industriais, pode ocorrer devido à presença de substâncias corantes orgânicas ou inorgânicas dissolvidas no efluente (NASCIMENTO, 2013)
- **Carbono Orgânico Total (COT):** O COT é composto por uma variedade de compostos orgânicos, sendo parâmetro de medida tanto para a matéria orgânica biodegradável quanto não biodegradável. Sua unidade de medição mais usual é o mg.L^{-1} (NASCIMENTO, 2013).
- **pH:** Indica a concentração de íons de hidrogênio (H^+) presentes no meio. É um dos parâmetros mais importantes no monitoramento do processo de tratamento físico-químico de efluentes. Tomando como exemplo, a precipitação química de metais pesados ocorre em valores altos de pH, processo muito importante para o tratamento de efluentes nas indústrias de tinta (SANTANA et al., 2020).

- **Demanda química de oxigênio (DQO):** Representa a demanda por oxigênio para estabilização de compostos orgânicos e inorgânicos presentes no efluente. Difere do COT pois este compreende uma ampla gama de compostos em vários estados de oxidação, sendo que a DQO compreende aqueles compostos oxidados por processos químicos. Sua unidade de medição mais usual é o mg.L^{-1} (NASCIMENTO, 2013).
- **Condutividade elétrica:** compreende uma medida rápida do volume de sólidos presentes na amostra, dependendo da quantidade sais dissolvidos no efluente. Quanto maior a presença desses sais, maior a condutividade elétrica. (IBRAHIN, F.I. D., IBRAHIN, F. J., & CANTUÁRIA, 2015). Sua unidade de medida mais usual é o microsiemens por centímetro ($\mu\text{S/cm}$).

3.3 Contaminação da água por efluentes da indústria de tinta

Em processos industriais que envolvem mistura simples para produção da tinta, os efluentes industriais são provenientes da lavagem dos tanques de mistura (PEDROSA, 2019), que é realizada todas as vezes antes que um novo lote de tinta é produzido.

Complementarmente, a eficiência para tratamento desses efluentes é consideravelmente variável e depende dos parâmetros iniciais do efluente bruto (GIORDANO, 2012), uma vez que há uma grande diversidade de matérias-primas utilizadas e variações significativas nos volumes de água utilizados entre os tipos de tinta (CETESB, 2006).

A despeito desta variabilidade, revisões literárias indicam que as plantas industriais de fabricação de tintas são caracterizadas por gerar efluentes com elevados níveis de cor e turbidez, forte odor, elevada condutividade elétrica e toxicidade, sendo esta última devido à presença de solventes, bactericidas e conservantes (VERMA; DASH; BHUNIA, 2012).

Não obstante, nas indústrias que fabricam os componentes sólidos das tintas, também chamados de bases, os efluentes são peculiarmente conhecidos pela **elevada toxicidade e altos níveis de carga orgânica** (GIORDANO, 2012).

Além da contaminação proveniente do processo produtivo, substâncias utilizadas no próprio processo de tratamento do efluente, como coagulantes químicos à base de alumínio, têm despertado interesse da comunidade científica devido ao seu resíduo, que pode estar presente no efluente tratado. (SANTANA et al., 2020). Esse resíduo, quando presente em concentrações superiores a 200 µg/L, pode causar a doença de Alzheimer (TEH et al., 2016).

No aspecto ambiental o maior problema em relação à utilização de coagulantes químicos é a disposição final do lodo residual (SANTANA et al., 2020), que consiste na matéria sólida resultante do processo de tratamento, uma vez que ao longo do processo industrial ocorre o uso de diversos produtos químicos. (SILVA, 2016).

Dessa forma, as empresas geradoras de efluentes líquidos devem adequar seu sistema de tratamento às especificidades dos mesmos podendo, inclusive, verificar se é viável a possibilidade de reuso em atividades da própria indústria (PEDROSA, 2019). O reuso do efluente nas atividades industriais pode ser especialmente viável para casos nos quais o lançamento em rede pública ou corpo receptor não é possível, seja por questões técnicas ou financeiras.

3.4 Tratamento de efluentes da indústria de tinta

O tratamento de efluentes industriais compreende três conjuntos de métodos: os físicos, químicos e biológicos. Esses métodos, por sua vez, são distribuídos ao longo de três níveis, que variam entre si de acordo com os parâmetros que influenciam e a complexidade técnica de execução (PERDROSA, 2019). São eles:

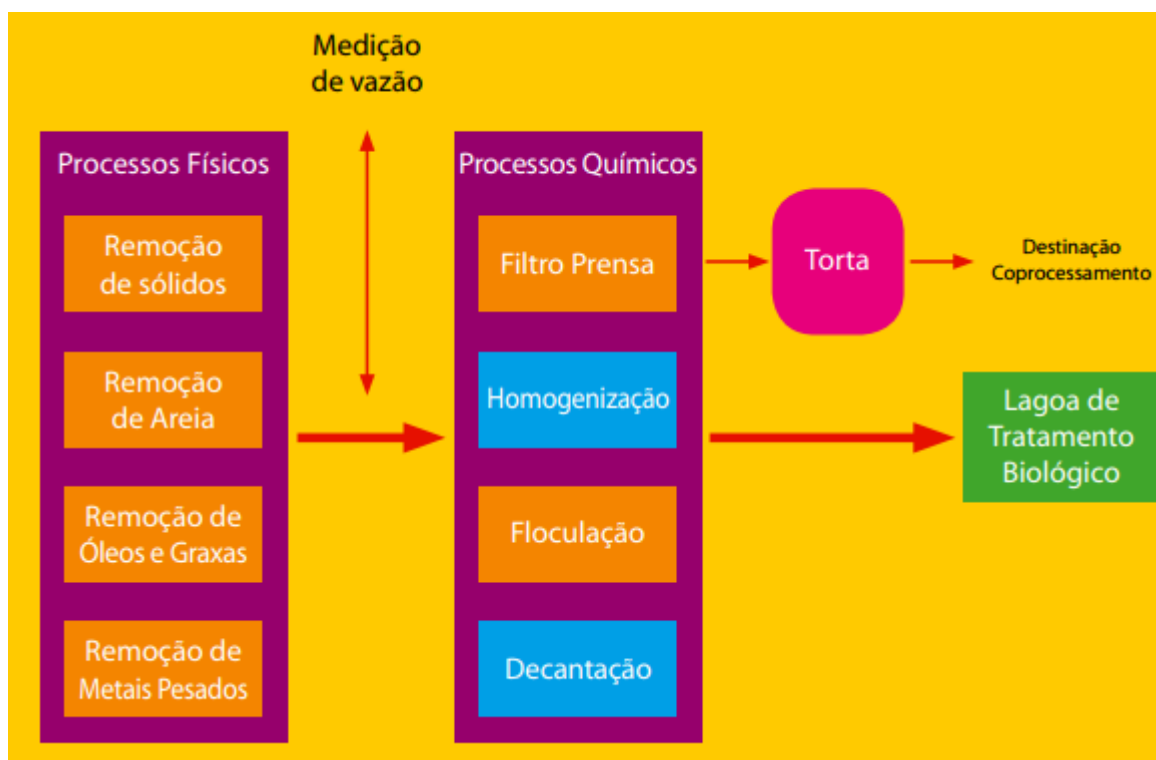
- a) Tratamento preliminar:** remoção de sólidos grosseiros e materiais flutuantes. Utilizam-se equipamentos como grades, caixas separadoras água-óleo, caixas desarenadoras e peneiras;
- b) Tratamento primário:** tem como objetivo remover matéria orgânica ou inorgânica em suspensão. O tratamento compreende, apesar de não se limitarem, aos processos físico-químicos de coagulação, floculação,

sedimentação, que serão explicados com detalhes nos subtópicos seguintes;

- c) **Tratamento secundário:** remoção de matéria orgânica dissolvida e em suspensão. Envolve mecanismos biológicos de remoção, a partir da aplicação de processos como lodos ativados, sistemas anaeróbios e filtros biológicos;
- d) **Tratamento terciário:** aplicados para correção de parâmetros não corrigidos nos processos anteriores. Em geral conferem ao efluente, após todas as etapas do tratamento, qualidade adequada para os usos ou destinação posteriores. Compreende métodos como desinfecção, adsorção por carvão ativado e filtração.

A Figura 3 ilustra os processos físicos, químicos e biológicos do tratamento de efluentes em indústrias de tinta.

FIGURA 3 - Processos físicos, químicos e biológicos do tratamento de efluentes da indústria de tintas.



Fonte: (CETESB, 2006).

3.4.1 Coagulação e floculação

O método de coagulação/floculação é particularmente eficiente na remoção de materiais em suspensão que não são removidos através dos processos físicos realizados no tratamento preliminar (SILVA, 2016).

A realização do método se dá pela aplicação de substâncias coagulantes, geralmente sais de ferro e alumínio, que em contato com a água sofrem hidrólise e, carregados positivamente, se associam a moléculas de água e liberam íon H^+ no meio. As espécies metálicas, já na forma de hidróxidos, entram em contato com a matéria sólida em suspensão no efluente mediante mistura rápida, formando partículas de maior tamanho e aumentando seu peso específico (SILVA, 2016).

Em um segundo momento essas partículas, desestabilizadas eletricamente, são colididas entre si em mistura lenta, formando flocos (partículas maiores) e podendo ser facilmente removidas por sedimentação, filtração ou flotação (SILVA, 2016).

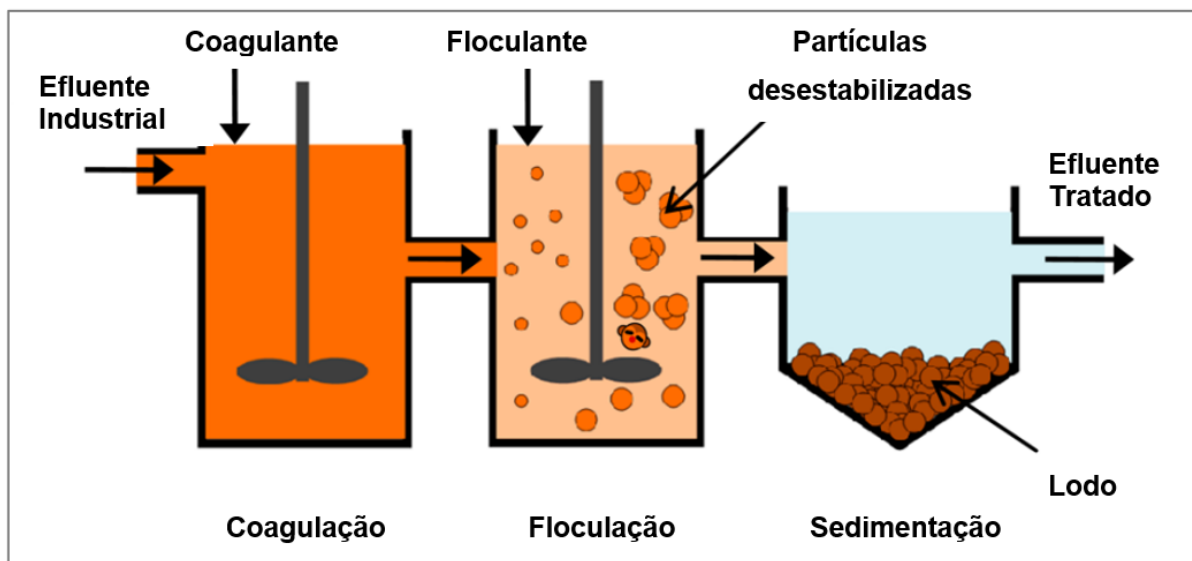
Ademais, a compreensão dos processos de coagulação e floculação também envolve a otimização de parâmetros que possam influenciar – positiva ou negativamente – a eficiência dos mesmos, sendo eles: a quantidade de coagulante empregado, sua natureza (orgânico ou inorgânico), o valor de pH no momento da aplicação, o tempo de sedimentação e a velocidade de agitação da amostra (PEDROSA, 2019).

3.4.2 Sedimentação

A sedimentação ocorre mediante a precipitação das partículas formadas nas etapas de coagulação e floculação. Esse processo facilita a retirada de material sólido que, quando agregados entre si, tornam-se mais densos que o efluente (NASCIMENTO, 2013).

A Figura 4 ilustra os processos de coagulação, floculação e sedimentação em sequência.

FIGURA 4 - Processo de tratamento primário utilizando-se os métodos de coagulação, floculação e sedimentação



Fonte: TEH et al., 2016. Traduzido pelo autor, 2021.

Segundo Nascimento (2013), ainda cabe pontuar que esses métodos, a despeito de apresentarem boa eficiência na remoção de alguns parâmetros, tais como cor e turbidez, em geral são insuficientes para a conformidade total do efluente com os parâmetros desejados, sendo necessária aplicação de outros métodos sobretudo para correção da Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO.

3.4.3 Coagulantes para o tratamento primário de efluentes industriais

Os coagulantes químicos, mais precisamente sais de alumínio e ferro, são os mais comumente usados para o tratamento de efluentes industriais. Sua forma de atuação ocorre mediante desestabilização das cargas dos colóides presentes no efluente (SANTANA et al., 2020).

A despeito de possuírem o melhor custo-benefício dentre as alternativas disponíveis, têm na disposição final de seu lodo um grande problema de ordem ambiental e de saúde pública. (PIVELLI; KATO, 2005 *apud* SANTANA et al., 2020).

Além disso, segundo LIMA (2015) o alumínio residual, quando presente nas Estações de Tratamento de Água, contribui para formação de turvação ao final do

processo de tratamento. Essa formação, por sua vez, tende a prejudicar o processo de desinfecção da água, que é muito importante na prevenção de inúmeras doenças.

Não obstante, países em desenvolvimento têm alto custo para importação de produtos químicos utilizados na remoção de turvação da água, como o policloreto de alumínio (YARAHMADI et al., 2009).

Nesse contexto, os coagulantes orgânicos têm surgido como uma alternativa para minimizar os efeitos negativos que os coagulantes químicos podem causar na cadeia de tratamento dos efluentes industriais. A utilização dessas substâncias produzidas localmente e com baixo custo financeiro pode resolver os problemas decorrentes do despejo de águas residuárias contaminadas em corpos hídricos (LIMA, 2015).

Uma das linhas de pesquisa que têm ganhado proeminência, como em trabalhos de Santana et. al. (2020) e Lima (2015), é a utilização de biopolímeros da semente de *Moringa oleifera* no tratamento de efluentes industriais e de água, respectivamente.

A utilização da semente pode se dar não só com a coagulação no tratamento de água para consumo humano, mas também como adsorvente em processos de coagulação-floculação para tratamento de efluentes industriais, havendo possibilidade de remover poluentes variados, incluindo metais pesados (SANTANA et al., 2020).

Comparações realizadas por Yarahmadi et al. (2009) indicam que não houveram alterações no pH do efluente quando da utilização do coagulante a base de *Moringa oleifera*, o que não se repetiu no uso do cloreto de alumínio, que diminuiu o pH da amostra de 8.1 para 7.6.

Tratando especificamente dos efluentes de indústrias de tinta, Santana et al. (2020) aponta que a *Moringa oleifera* foi mais eficiente em todos os parâmetros analisados, quando comparados ao sulfato de alumínio. Os resultados comparativos encontrados pela autora encontram-se na Tabela 1.

TABELA 1 – Santana et. al. (2020). Comparação entre eficiências de remoção entre a semente de *Moringa oleífera* e sulfato de alumínio.

Ensaio	pH (Inicial)	Agitação	Concentração de coagulante (g.L ⁻¹)	pH (Final)	Cor (mgPt-Co.L ⁻¹)	Turbidez (NTU)	Condutividade elétrica (uS/cm)	Carbono Orgânico Total (mg.L ⁻¹)
I	6,0	3,0	15,0	1,85	72,1	133	3900	28330
II	9,0	3,0	15,0	3,02	51,8	49,4	3930	29165
III	9,0	3,0	15,0	8,3	7,6	8,55	1300	25760

Fonte: Santana et al. (2020.) Legenda original: Resultados do teste comparativo com sulfato de alumínio.

O experimento I corresponde ao uso somente do sulfato de alumínio; O experimento II, ao uso do sulfato de alumínio conjugado com semente de *Moringa oleífera*; e o experimento III ao uso somente da *Moringa oleífera* como coagulante.

Outro tipo de coagulantes orgânicos de proeminência são aqueles derivados de extratos de taninos, os quais já possuem versões disponíveis comercialmente, como é o caso do Tanfloc® da fabricante Tanac S.A. (Montenegro/RS; Brasil).

Essa família de coagulantes tem sido especialmente estudada no tratamento de efluentes industriais e de água (CORAL; BERGAMASCO; BASSETTI, 2009; STRÖHER, 2012).

Em trabalho desenvolvido com efluente industrial têxtil, de características similares aos encontrados nas indústrias de tintas, STRÖHER (2012) identificou remoção de 94,81% para DQO, 99,65% para turbidez e 99,17% para cor em relação ao efluente bruto, após aplicação de coagulante a base de tanino na concentração ótima de 400 mg.L⁻¹

Complementarmente, revisões indicam que coagulantes à base de taninos vegetais apresentam excelentes resultados na remoção de pigmentos oriundos de efluentes de indústrias de tinta, têxtil e serigrafia (KÜLZER; RODRIGUES, 2016).

3.5 Legislação referente ao tratamento e lançamento de efluentes industriais

No que se refere a efluentes industriais, as exigências da legislação brasileira se concentram nas características do efluente final a ser lançado em corpo hídrico e, quando for o caso, nos padrões de qualidade que devem ser mantidos desse corpo receptor.

A fundamentação legal se baseia nas premissas indicadas pela Política Nacional de Recursos Hídricos e pela Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Paraná, que trazem no seu escopo as máximas de que a água é um bem de domínio público, um recurso natural limitado e dotado de valor econômico. (BRASIL. CASA CIVIL., 1997; PARANÁ, 1999).

Nesse contexto, para além do monitoramento de condições para lançamento, a Resolução CONAMA nº 430/2011, no Art. 27, estabelece que fontes poluidoras, sejam elas empresas ou não, devem buscar reduzir o volume de efluentes gerados, buscar sua melhoria e, sempre que possível reutilizá-lo. A Resolução mencionada também indica, no seu escopo, os parâmetros de qualidade que o efluente deve apresentar quando lançado em corpo hídrico.

Esta condição é especialmente importante para as indústrias de fabricação de tinta, que têm na legislação a prerrogativa de reutilizar seu efluente tratado para fins menos nobres, como lavagem, desde que destinado corretamente após o uso.

Não obstante, empreendimentos industriais e atividades poluidoras que realizam lançamento de efluentes devem apresentar ao órgão ambiental, com periodicidade definida, informações que comprovem o monitoramento do efluente e sua conformidade com os limites estabelecidos. Esta condição é abordada na Res. CONAMA 430/2011 no Art. 28 e regulamentada no estado do Paraná pela Portaria nº 256/2013, do Instituto Água e Terra do Paraná – IAT.

Ademais, as condições do corpo receptor são também objeto de regulamentação por parte da legislação brasileira. A Res. CONAMA 357, de 17 de março de 2005, estabelece o enquadramento de águas doces em 4 classes distintas e uma classe especial, as quais diferem entre si pelos usos que se pode fazer das mesmas. Via de regra, águas de maior qualidade possuem usos mais restritivos. (BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA., 2005).

A legislação brasileira ainda prevê o chamado lançamento indireto, no qual o efluente é descartado na rede coletora de esgotos mediante autorização prévia da empresa concessionária do serviço. Essa possibilidade é abordada na Res. CONAMA nº 430/2011 e na Portaria IAT nº 256/2013.

Além disso, a Norma ABNT NBR 9800 estabelece critérios para lançamento desses efluentes em redes coletoras de esgoto, como parâmetros físico-químicos e condições operacionais para lançamento.

No tocante aos parâmetros de Condutividade elétrica, Cor, Turbidez, Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH e Carbono Orgânico Total, mais relevantes para os efluentes de indústria de tinta (SANTANA et al., 2020; SILVA, 2016) as legislações que tratam dos padrões de lançamento do efluente são a Res. CONAMA nº 430/2011, de âmbito federal, e a Portaria IAP. nº 256/2013, de âmbito estadual.

Dentre os parâmetros listados, a Resolução Conama 430/2011 indica apenas padrões para pH, que devem estar entre 5 e 9. A Portaria nº IAP nº 256/2013, por sua vez, indica apenas a frequência de monitoramento de alguns parâmetros, dentre eles pH e DQO, sendo que os padrões de lançamento são determinados individualmente para cada indústria na ocasião do licenciamento ambiental das mesmas.

O Quadro 1 ilustra todas as legislações e normas mencionadas e seu escopo.

QUADRO 1 - Legislações e normas referentes ao gerenciamento de efluentes industriais no estado do Paraná

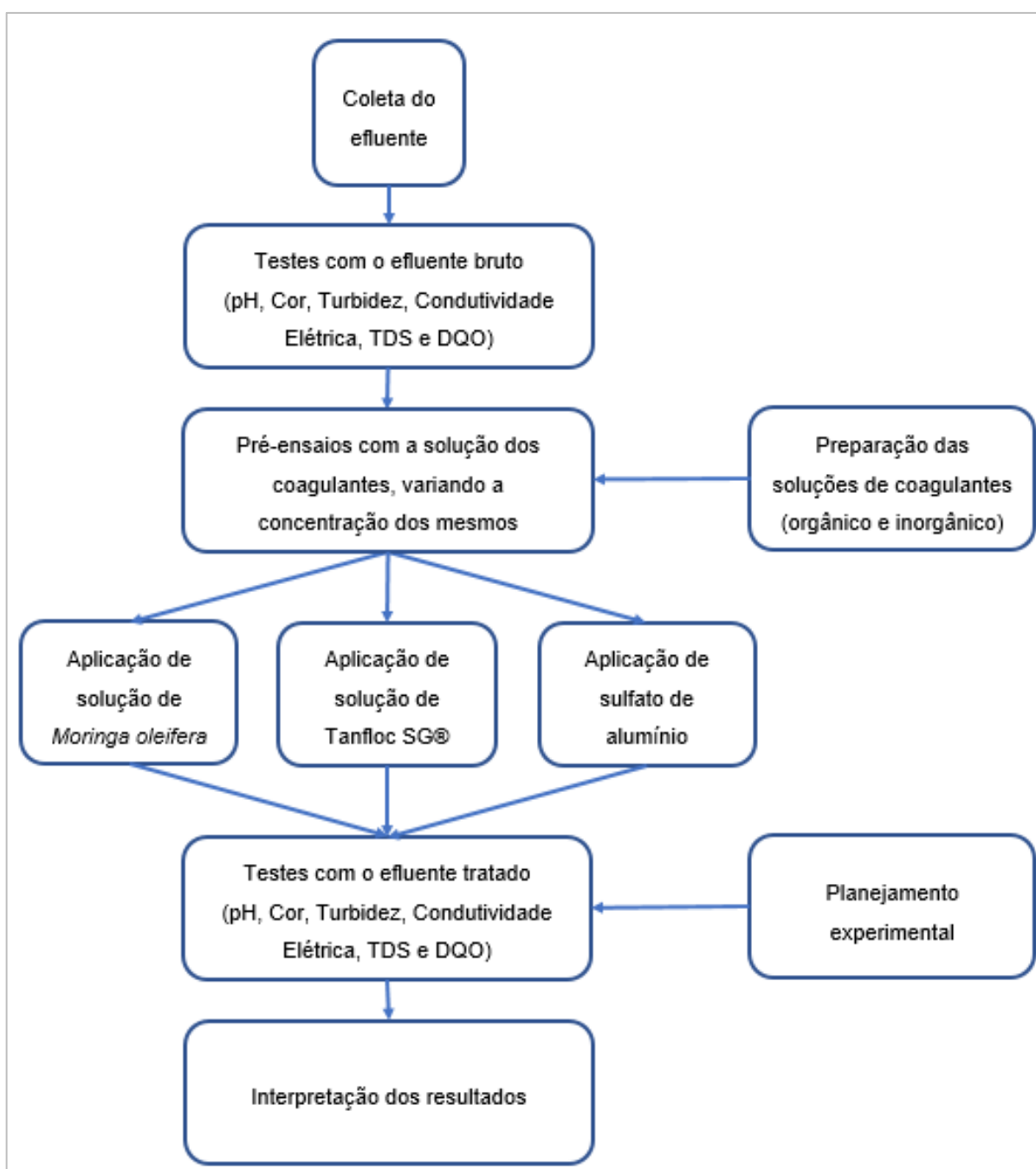
Legislação/norma	Escopo referente a efluentes industriais
Res. CONAMA 430/2011	Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes
Res. CONAMA 357/2005	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
Lei Federal nº 9.433, de 08/01/1997	Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
Lei Estadual nº 12726, de 26/11/1999	Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos e adota outras providências.
Portaria IAP nº 256, de 16/09/2013	Aprova e estabelece os critérios e exigências para a apresentação da DECLARAÇÃO DE CARGA POLUIDORA, através do SISTEMA DE AUTOMONITORAMENTO de Atividades Poluidoras no Paraná e determina seu cumprimento.
Norma ABNT NBR nº 9800/1987	Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário.

Fonte: Autoria própria. (2021).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 5 apresenta o fluxograma do processo metodológico aplicado ao tratamento da água residuária proveniente da indústria de tintas, utilizado os processos de coagulação, floculação e sedimentação com coagulantes orgânicos (moringa oleífera e Tanfloc®) e inorgânico (sulfato de alumínio).

FIGURA 5 - Fluxograma do processo metodológico a ser aplicado



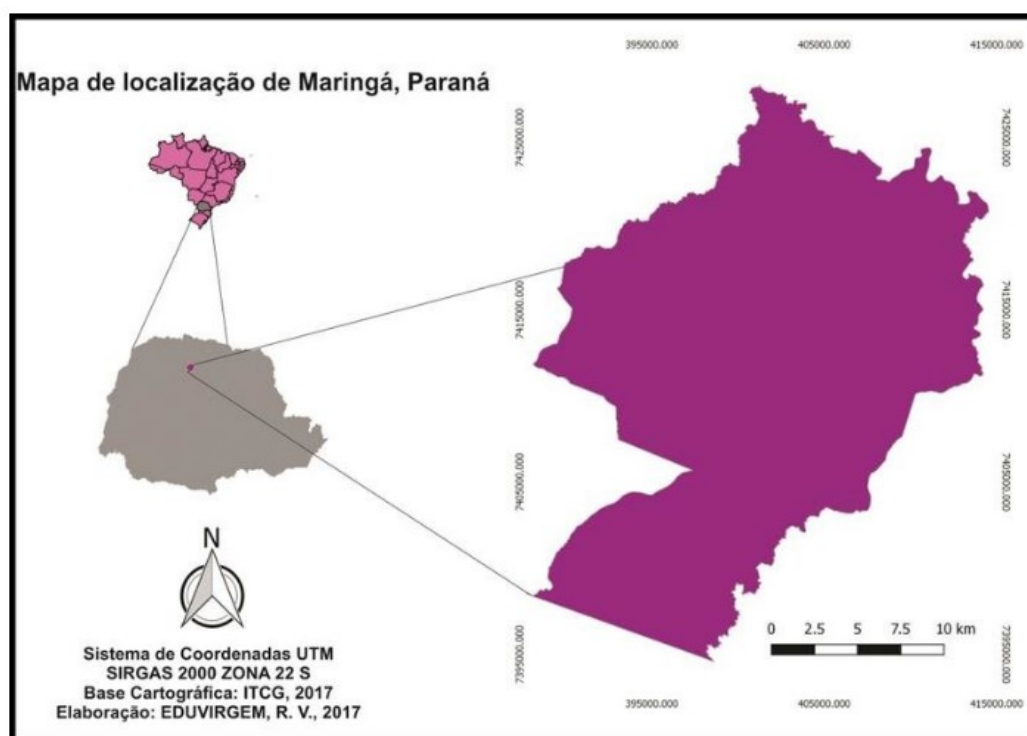
Fonte: Autoria própria, 2021.

4.1 Caracterização da indústria objeto do estudo

O efluente objeto do estudo, bem como as informações pertinentes à análise do mesmo serão coletados em uma indústria de tintas localizada no município de Maringá, na região Norte Central do Estado do Paraná.

A Figura 6 ilustra o mapa da localização do município de Maringá no qual a empresa está situada.

FIGURA 6 - Mapa de localização do município de Maringá/PR



Fonte: EDUVIRGEM, R. V., 2017.

Atualmente, a indústria produz tintas à base de água, esmaltes sintéticos, grafiato, lacas e vernizes, visando atender demandas variadas do mercado, sendo que as tintas à base de água são o produto fabricado em maior quantidade.

4.1.1 Processo produtivo da indústria

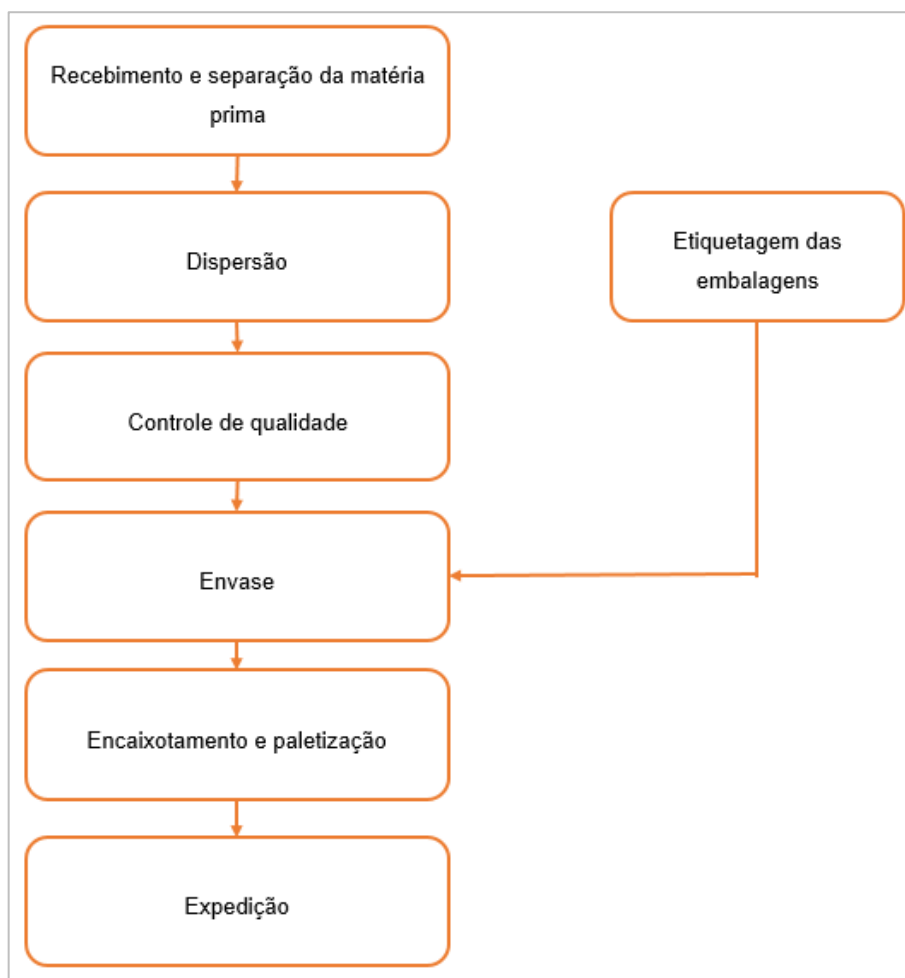
O processo produtivo é similar entre os diversos itens, alterando-se as substâncias utilizadas e a proporção das mesmas, seguindo rigorosamente a formulação química estabelecida para cada produto.

Após recepção e armazenamento dos insumos, os mesmos são selecionados de acordo com a formulação específica e levados até o dissipador, equipamento no qual ocorre a mistura entre os componentes da tinta, incluindo a devida proporção de água.

O dissipador opera com uma haste giratória posicionada verticalmente na bacia de mistura, equipada com um disco na extremidade. Ao ser rotacionada, em velocidade previamente definida pela formulação do produto, a haste e o disco promovem a mistura de todos os componentes inseridos. Ao final do processo, ainda são inseridas algumas matérias primas para finalização do produto.

Na sequência há o controle de qualidade, estabelecido para avaliar se o produto atende aos padrões de viscosidade, cobertura, alvura, brilho e potencial hidrogeniônico. Em caso positivo, o produto segue para a fase seguinte. Caso algum dos parâmetros não estiver em conformidade, o mesmo retorna para a dispersão a fim de realizar os devidos ajustes.

O produto final é, então, envasado e transportado até local de comercialização. A Figura 7 ilustra o fluxograma do processo produtivo.

FIGURA 7 - Processo produtivo da indústria objeto do estudo

Fonte: Autoria própria (2021). Informações fornecidas pela empresa.

4.1.2 O efluente gerado pela indústria

Os efluentes da empresa são provenientes do uso humano (sanitários, pias e demais acessórios) e do próprio consumo industrial, que consiste na água resultante da lavagem dos dissipadores. Essa lavagem é realizada todas as vezes que uma nova leva de insumos é direcionada para a mistura, ainda que sejam os mesmos constituintes do uso anterior.

Ressalta-se que a água utilizada na mistura com os insumos tem padrão livre de impurezas e não tem contato com a água da lavagem dos dissipadores, sendo totalmente incorporada ao produto final e, portanto, não se tornando efluente industrial.

A água da lavagem dos dissipadores, por sua vez, opera em circuito fechado, ou seja, não é descartada em corpo hídrico ou na rede coletora da concessionária pública Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar). Após ser utilizada, é direcionada para a Estação de Tratamento de Efluentes – ETE na qual passa por tratamento até que atinja condições de ser utilizada novamente.

Por fim, os efluentes sanitários (provenientes do uso humano) são direcionados a fossa séptica e posteriormente a sumidouro instalados dentro da própria empresa.

A vazão volumétrica de efluente industrial gerado é, em média, de 0,67 m³ por hora. Nesse contexto, o efluente é direcionado para a ETE em batelada, isto é, de maneira descontínua havendo quatro descargas de efluente ao dia no sistema de tratamento. Cada descarga contém, em média, 2 m³ de efluente, totalizando 8 m³ por dia de efluente tratado.

4.1.3 O processo de tratamento do efluente industrial

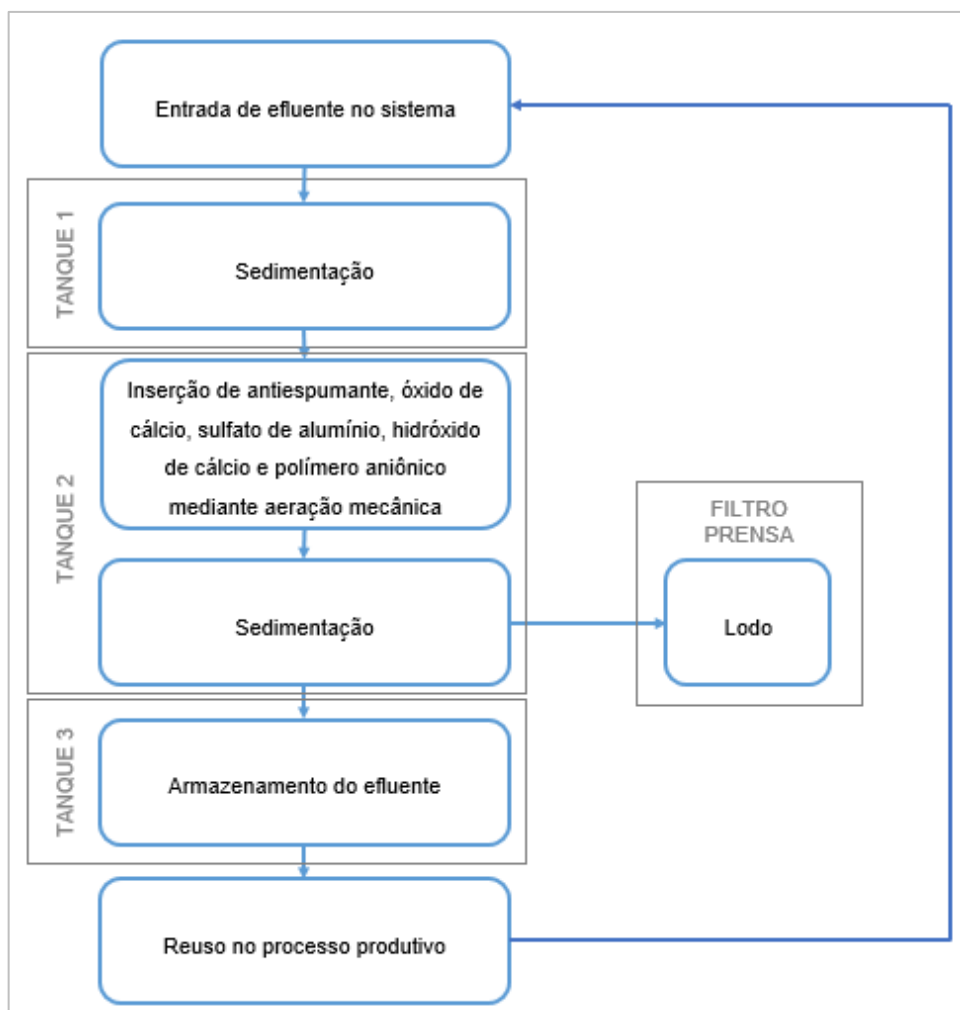
O efluente industrial é encaminhado para Estação de Tratamento de Efluentes – ETE localizada dentro da própria indústria, na qual passa pelas seguintes etapas:

- 1** Ao chegar na estação de tratamento, o efluente fica armazenado no Tanque 1 até que atinja volume suficiente para as próximas etapas de tratamento.

- 2** Ao atingir o volume ótimo de 2 m³ para o tratamento, o efluente é bombeado até o Tanque 2, no qual ocorrem os seguintes processos em sequência:
 - Adição de antiespumante na proporção 0,045 mL por litro de efluente e aeração por aproximadamente 5 minutos;
 - Adição de óxido de cálcio (cal virgem) para correção do pH, na proporção de 6,75 g por litro de efluente e aeração por 2 minutos;
 - Adição de sulfato de alumínio (coagulante) na proporção 7,25 g por litro de efluente e aeração por 2 minutos;

- Adição de hidróxido de cálcio (cal hidratada) como agente floculador, na proporção 6,0 g por litro de efluente e aeração por 30 minutos;
 - Adição de polímero aniônico, na proporção 0,25 mL por litro de efluente, utilizado como auxiliar no processo de floculação.
 - Por fim, desliga-se a aeração e aguarda-se 90 minutos a fim de promover a sedimentação das partículas.
- 3** Decorrido o tempo da sedimentação, o efluente é direcionado ao Tanque 3, no qual fica armazenado até o reuso no processo produtivo.
- 4** O lodo resultante do processo de sedimentação passa por filtro prensa, no qual é retirada sua umidade, e posteriormente é destinado como resíduo sólido.

A Figura 8 ilustra o processo de tratamento do efluente nas dependências internas da indústria.

FIGURA 8 - Processo de tratamento do efluente na indústria.

Fonte: Autoria própria (2021).

4.2 Amostragem do efluente bruto

O efluente bruto foi coletado na própria ETE previamente aos processos de tratamento, no Tanque 1, utilizando duas bombonas de 50L cada que permitem conservação das amostras em suas características originais até a chegada no laboratório de ensaio.

O volume de efluente foi coletado em uma campanha de um dia de produção típica da indústria, de modo que o efluente fosse representativo das condições normais de operação da mesma. Esse processo é importante pois permite que os resultados encontrados sejam aplicados de forma efetiva na rotina da empresa.

O protocolo de coleta dos efluentes no ponto de amostragem se inicia com a aclimação dos recipientes, que consiste na coleta do efluente, agitação dentro do recipiente e descarte do mesmo. Esse processo se repete por três vezes, a fim de balancear o espaço interno dos recipientes.

Na sequência houve coleta do efluente e transporte do mesmo ao Laboratório de Recursos Hídricos e Hidráulica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina, no qual se dará análise dos parâmetros pH, Cor Aparente, Turbidez, Condutividade Elétrica e Demanda Química de Oxigênio (DQO).

4.3 Preparação das soluções de coagulantes

Os coagulantes a serem avaliados, sulfato de alumínio, Tanfloc® e extrato salino da semente de *Moringa oleífera*, foram preparados em soluções de acordo com suas especificidades. O sulfato de alumínio, coagulante inorgânico atualmente utilizado na indústria objeto do estudo, foi preparado em solução-mãe de 10g L^{-1} com água destilada.

A *Moringa oleífera*, por sua vez, foi preparada em solução salina. Após coleta da semente, foram pesadas 10g da mesma já descascada. Foram também pesados 10g de cloreto de sódio (NaCl) e adicionado a 1 (um) litro de água destilada, agitando de forma que se dissolva por completo e formando a solução salina 10g.L^{-1} de NaCl.

Por fim, foram triturados 10g da semente de *Moringa oleífera* em mistura com a solução salina NaCl 10g.L^{-1} no liquidificador, a fim de se obter a solução-mãe do coagulante orgânico em concentração 10 g L^{-1} .

O coagulante a base de Tanfloc®, já disponível comercialmente em estado líquido, foi diluído em solução-mãe a 10g L^{-1} .

As soluções-mãe respectivas aos três coagulantes foram, então, submetidas a pré-ensaios variando-se a quantidade aplicada a fim de determinar a concentração ótima, como indicam os tópicos que seguem.

4.4 Ensaios de coagulação, floculação e sedimentação

Para realização dos ensaios de coagulação, floculação e sedimentação foi realizada análise prévia do efluente bruto nos mesmos parâmetros da análise final, isto é: pH, Cor Aparente, Turbidez, Condutividade Elétrica, Sólidos Dissolvidos Totais e Demanda Química de Oxigênio (DQO).

4.4.1 Pré-ensaios

Na sequência foi realizado pré-ensaio com o efluente bruto em equipamento *JarTest* a fim de variar dois fatores, a concentração dos coagulantes e o tempo de sedimentação, e avaliar quais níveis utilizar para cada um.

A realização do pré-ensaio teve como intuito definir o tempo de sedimentação ideal e a concentração ótima de aplicação dos coagulantes, isto é, a concentração na qual há maior formação de flocos no interior do efluente sem que o próprio coagulante passe a contribuir com o aumento da turbidez.

Para que cada coagulante fosse avaliado em relação à dosagem ótima de atuação, foi necessário utilizar concentrações distintas para cada tipo (Extrato salino de *Moringa oleifera*, Tanfloc® e Sulfato de alumínio).

Os tempos de sedimentação utilizados, por sua vez, foram os mesmos para aplicação dos três coagulantes. Além disso, cada fator foi variado em três níveis, denominados -1, 0 e 1.

A Tabela 2 ilustra a faixa experimental para cada coagulante e os fatores variados, conforme descrito anteriormente.

TABELA 2 - Faixa experimental e níveis dos fatores estudados para os coagulantes orgânico e inorgânico.

Fatores	Símbolo	Níveis		
		-1	0	1
Tempo de sedimentação (min)	A	10	20	30
Dosagem de coagulante a base de <i>Moringa oleifera</i> (mL da solução mãe)	B-1	80	90	100
Dosagem de coagulante Tanfloc® (mL da solução mãe)	B-2	100	110	120
Dosagem de coagulante Sulfato de alumínio (mL da solução mãe)	B-3	25	35	45

Fonte: Autoria própria. (2021).

4.4.2 Realização dos experimentos e planejamento fatorial

Assim que obtidos os resultados do pré-ensaio, foi realizado o experimento no equipamento *JarTest* utilizado nas etapas anteriores. Para tanto, foi realizada organizado os ensaios na forma do planejamento fatorial. No planejamento fatorial foram realizados em $3^2 = 9$ ensaios (-1,0,1) com duas variáveis independentes (tempo de sedimentação e dosagem de coagulante) feito em duplicata totalizando 18 ensaios para a aplicação de cada coagulante, como ilustra a Tabela 3.

TABELA 3 - Distribuição dos ensaios em relação à análise fatorial

Ensaio	Tempo de sedimentação	Dosagem de coagulante a base de <i>Moringa oleifera</i>	Dosagem de coagulante Tanfloc®	Dosagem de coagulante Sulfato de alumínio
	A	B-1	B-2	B-3
	min	mL da solução mãe	mL da solução mãe	mL da solução mãe
1	10	80	100	25
2	10	90	110	35
3	10	100	120	45
4	20	80	100	25
5	20	90	110	35
6	20	100	120	45
7	30	80	100	25
8	30	90	110	35
9	30	100	120	45
10	10	80	100	25
11	10	90	110	35
12	10	100	120	45
13	20	80	100	25
14	20	90	110	35
15	20	100	120	45
16	30	80	100	25
17	30	90	110	35
18	30	100	120	45

Fonte: Autoria própria (2022).

A aplicação dos coagulantes se deu em três etapas, sendo a primeira a dispersão em regime de mistura rápida ao longo de 3 minutos e, na sequência, mistura lenta ao longo de 10 minutos. Por fim houve a sedimentação, na qual o efluente foi isolado de qualquer agitação ao longo do tempo determinado para cada ensaio. A Tabela 4 ilustra as etapas de aplicação do coagulante.

TABELA 4 - Gradiente de rotação das hastes misturadoras e tempo de ação

Mistura rápida		Mistura lenta		Sedimentação	
Gradiente (rpm)	Tempo (min)	Gradiente (rpm)	Tempo (min)	Gradiente (rpm)	Tempo (min)
100	3	15	10	0	*

*O tempo de sedimentação se dá de acordo com o planejamento fatorial

Fonte: Autoria própria (2022).

Decorrido os referidos ensaios iniciou-se a aplicação dos coagulantes de acordo com as especificações para cada ensaio, sendo avaliados os parâmetros definidos, a saber: pH, Cor Aparente, Turbidez, Condutividade Elétrica, Sólidos Dissolvidos Totais e Demanda Química de Oxigênio (DQO).

4.5 Metodologias para análise dos parâmetros do efluente tratado

Os parâmetros foram analisados de acordo com o estabelecido pelo planejamento experimental e em conformidade com as normas estabelecidas para cada análise, de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (RODGER B. BAIRD, ANDREW D. EATON, 2018). O Quadro 2 ilustra os métodos e equipamentos a serem utilizados para análise de cada parâmetro.

QUADRO 2 – Normas de referência e equipamentos utilizados para análise de cada parâmetro do efluente bruto e tratado

Parâmetro	Norma de referência	Equipamento a ser utilizado
pH	4500 H ⁺ B	pH-metro mPA-210
Cor (mgPt-Co.L⁻¹)	2120 C	Espectrofotômetro HACH DR-5000
Turbidez (NTU)	2030 B	Turbidímetro Policontrol AP-2000
Condutividade elétrica (uS.cm⁻¹)	2510 B	Condutivímetro Mca 150
Sólidos Dissolvidos Totais(ppm)	Leitura direta	Meter TDS
DQO (mg.L⁻¹)	5220 D	Digestor Espectrofotômetro HACH DR-5000

Fonte: Autoria própria. (2021).

4.6 Cálculo de eficiência de remoção

Para efetuar o cálculo da eficiência de remoção dos parâmetros analisados após a aplicação do tratamento, foi utilizada a Equação 1.

$$E_{remoção} = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} * 100$$

Equação 1

Onde:

$E_{remoção}$ = eficiência de remoção (%)

C_i = concentração inicial do parâmetro em análise (mg.L⁻¹, mgPt-Co.L⁻¹)

C_f = concentração final do parâmetro em análise (mg.L⁻¹, mgPt-Co.L⁻¹)

A aplicação da Equação 1 se deu para os parâmetros Demanda Química de Oxigênio – DQO e Cor aparente, sendo que para os demais parâmetros os resultados se deram na forma das unidades de medição diretas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização da amostra bruta.

Após a coleta da amostra bruta na indústria objeto do estudo e transporte até o Laboratório de Recursos Hídricos e hidráulica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina, foram analisados os parâmetros da amostra bruta. A Tabela 5 apresenta os parâmetros avaliados para o efluente bruto e seus valores.

TABELA 5 - Parâmetros da amostra bruta

PARÂMETRO	UN. DE MEDIDA	VALOR
pH	-	7,71
Cor aparente	mgPt-Co.L ⁻¹	35160
Turbidez	NTU	16,6
Condutividade	uScm ⁻¹	2688
DQO	mg.L ⁻¹	4632,7
	Abs	1,843
TDS	ppm	1090

Fonte: Autoria própria, 2022.

Podemos observar que o efluente bruto apresentou pH dentro da faixa neutra, de valor 7,71, o que favorece o processo de tratamento do efluente de tintas e a coagulação. A precipitação química de metais pesados por exemplo, processo importante para o tratamento deste tipo de efluente, ocorre em pH superior a 7, ou seja, alcalino (SANTANA et al., 2020).

Essa condição é também ressaltada pela prática da indústria objeto do estudo na aplicação de cal virgem ao processo de tratamento com o intuito de corrigir o pH do efluente, o que não foi necessário para a pesquisa em questão.

O parâmetro Cor Aparente apresentou comportamento semelhante ao indicado em algumas literaturas de referência, como ao encontrado de 43200 mgPt-Co.L⁻¹ por SANTANA et al., 2020 e 27300 mgPt-Co.L⁻¹ por KÜLZER; RODRIGUES, 2016 apud. Meza, 2010.

Ademais, a Turbidez encontrada destoa da maioria dos valores de referência, como os valores de 61400 NTU obtido por KREIN, 2009 e 32800 NTU obtido por SANTANA et al., 2020. Em pesquisa avaliando métodos de filtração, entretanto,

PEDROSA, 2019 obteve valor de 145,1 NTU, atestando o comportamento de alta variabilidade de efluentes desta natureza em relação aos parâmetros físico químicos.

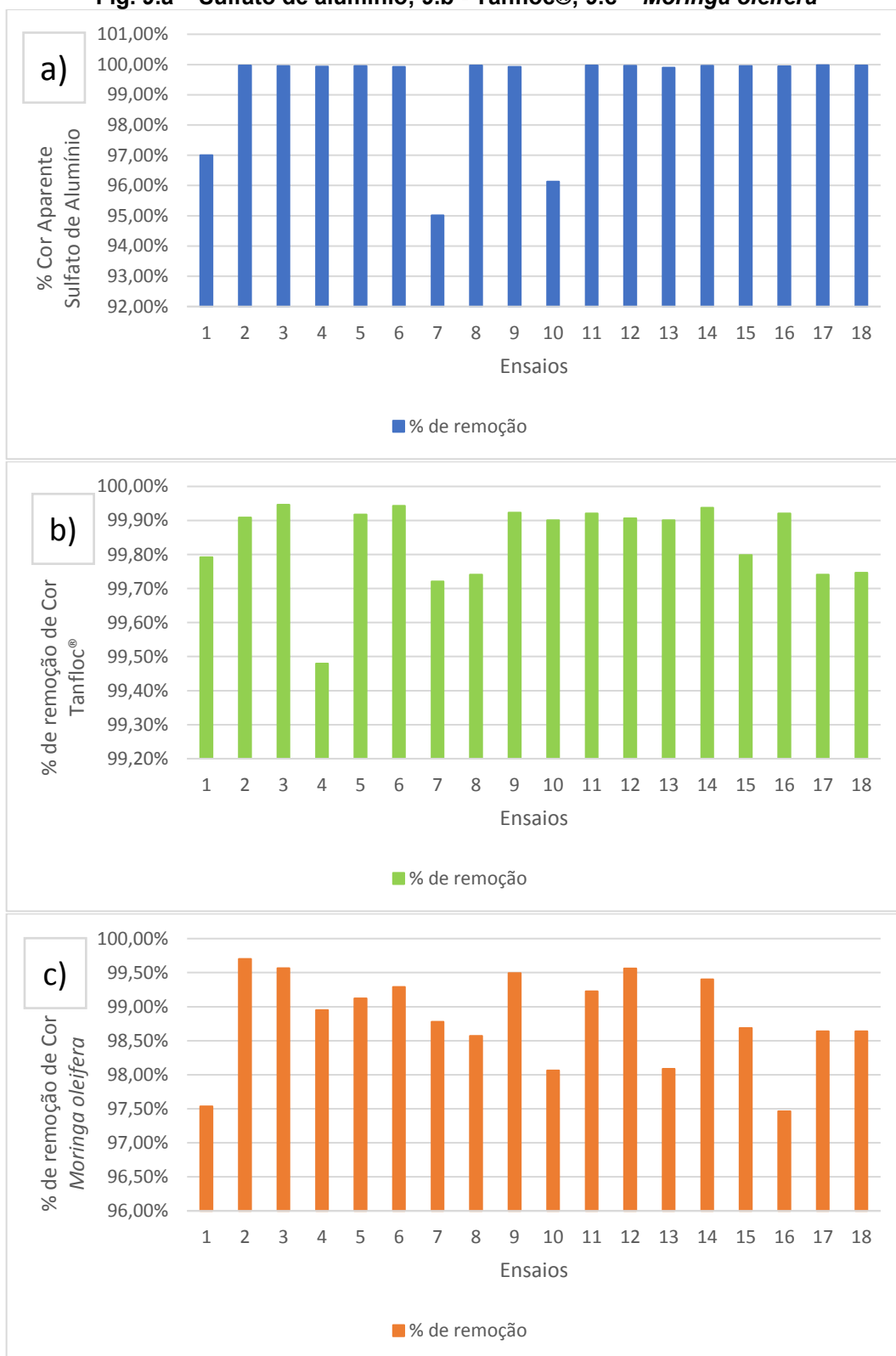
Ademais, a Demanda Química de Oxigênio – DQO apresentou valor na faixa de 4632,7 mg.L⁻¹, fator corroborado pelas indicações da literatura de ser um efluente de composição complexa e baixa biodegradabilidade, como indicam os resultados obtidos de 31130 mg.L⁻¹ por NASCIMENTO, 201 e de 21240 mg.L⁻¹ por KREIN, 2009.

Demais considerações serão exploradas em detalhes nos tópicos 5.2 a 5.7, ilustrando os resultados detalhadamente por parâmetros

5.2 Cor Aparente

A Figura 9 ilustra os dados de remoção de Cor aparente após tratamento da amostra bruta com cada coagulante.

FIGURA 9 – Cor Aparente (% de remoção após aplicação dos coagulantes)
Fig. 9.a – Sulfato de alumínio; 9.b - Tanfloc®; 9.c – *Moringa oleifera*



Decorridas as análises de Cor Aparente após aplicação dos coagulantes, observa-se que o Sulfato de alumínio apresentou eficiência de remoção acima de 99% para a maioria dos ensaios, com exceção dos ensaios 1, 7 e 10 que apresentaram remoção de 97,00%, 95,02% e 96,13% respectivamente.

Em contrapartida, todos os ensaios com o coagulante Tanfloc® apresentaram capacidade de remoção acima de 99%, independentemente da concentração ou do tempo de sedimentação adotados.

Para a *Moringa oleifera* as maiores capacidades de remoção se deram com a dosagem de coagulante de 100 mL e 90 mL, sendo que para essas dosagens a remoção mínima foi de 98,64% para dosagem 100 mL e 98,57% para dosagem 90 mL. Os ensaios com dosagem de 80 mL, por sua vez, também indicam altos índices de remoção, com remoção mínima de 97,46%.

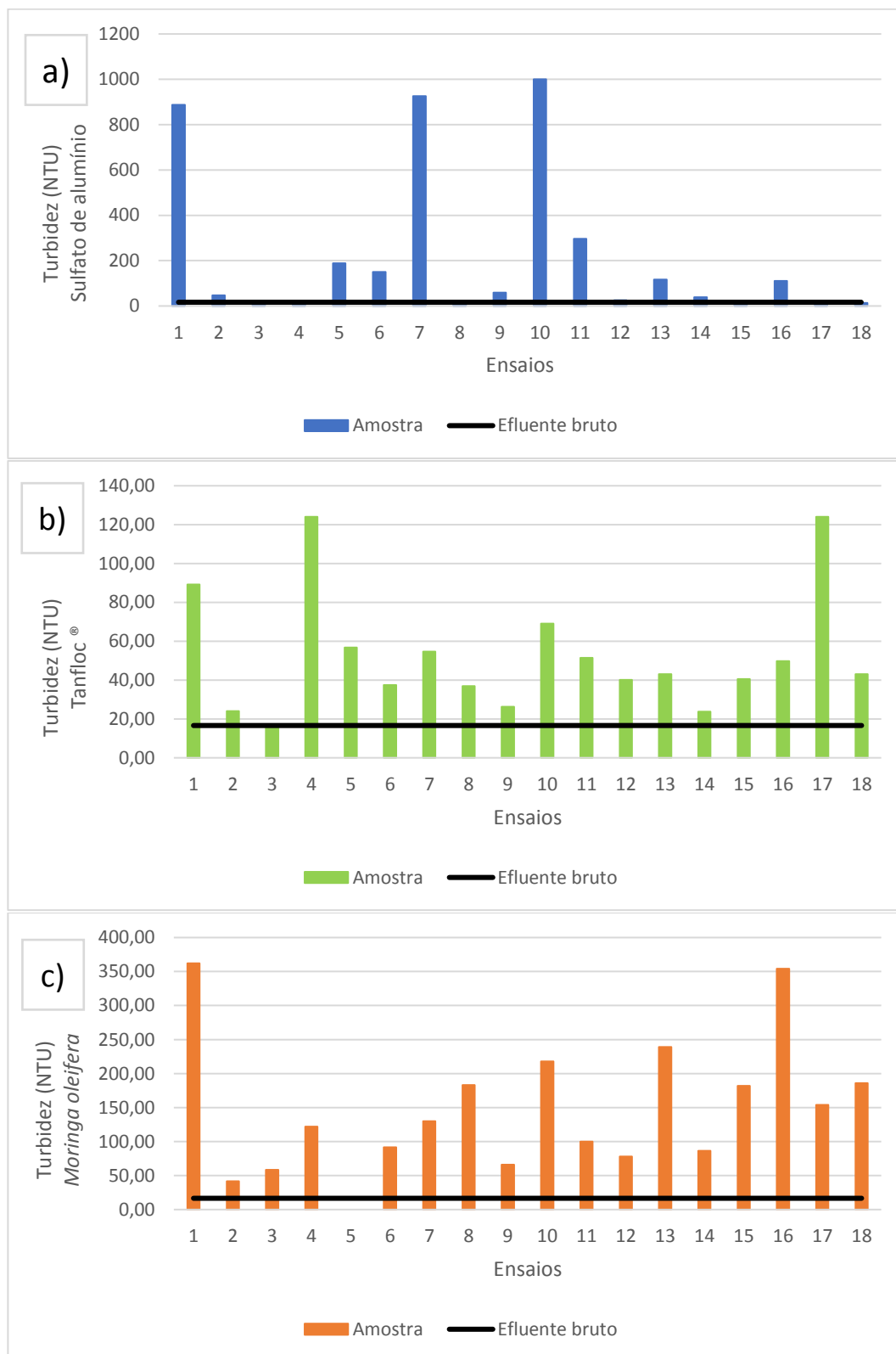
Segundo SANTANA et. al, em análise comparativa entre a *Moringa oleifera* e o Sulfato de alumínio quando aplicados a efluente de indústrias de tinta encontrou eficiências de remoção próximas à totalidade de 100%. Todavia, cabe ressaltar que na pesquisa em questão foi utilizada concentração superior – de 15 g.L⁻¹ por solução – à utilizada nesse estudo de caso para ambos coagulantes.

Ademais em pesquisa realizada com efluente têxtil de características similares STRÖHER, 2012 obteve percentual de remoção 99,17% para o parâmetro Cor Aparente utilizando coagulante a base de Tanfloc®, valor similar aos encontrados para o presente estudo.

5.3 Turbidez

A Figura 10 ilustra os dados de Turbidez após tratamento da amostra bruta com cada coagulante.

FIGURA 10 - Turbidez (NTU) após aplicação dos coagulantes
Fig. 10.a – Sulfato de alumínio; 10.b - Tanfloc®; 10.c – *Moringa oleifera*



As análises de Turbidez indicam que quase todos os resultados encontrados após aplicação dos coagulantes são maiores que aquele encontrado para a amostra bruta, de 16,6 NTU. O resultado é condizente à premissa encontrada em PIVELI; KATO, 2006, segundo o qual a eficiência do tratamento deste tipo de efluente com coagulantes é dificultada quando este apresenta pequena quantidade ou ausência de partículas coloidais ou em suspensão.

O Sulfato de alumínio, excepcionalmente, apresentou valores de Turbidez na faixa de 800 NTU a 1000 NTU, bruscamente superiores à Turbidez do efluente bruto e também dos demais ensaios. Fator comum entre todos os ensaios que apresentaram esse comportamento é a dosagem de coagulante 25 mL utilizada, sendo necessário maiores estudos estatísticos para determinar a existência – ou não – de uma correlação entre esses dois fatores.

Foram também identificados máximos de 124 NTU para o Tanfloc® e 362 NTU para *Moringa oleifera*. Para os dois casos, todavia, as próprias duplicatas (ensaios de mesma dosagem e tempo de sedimentação) revelaram valores mais próximos à média dos demais resultados.

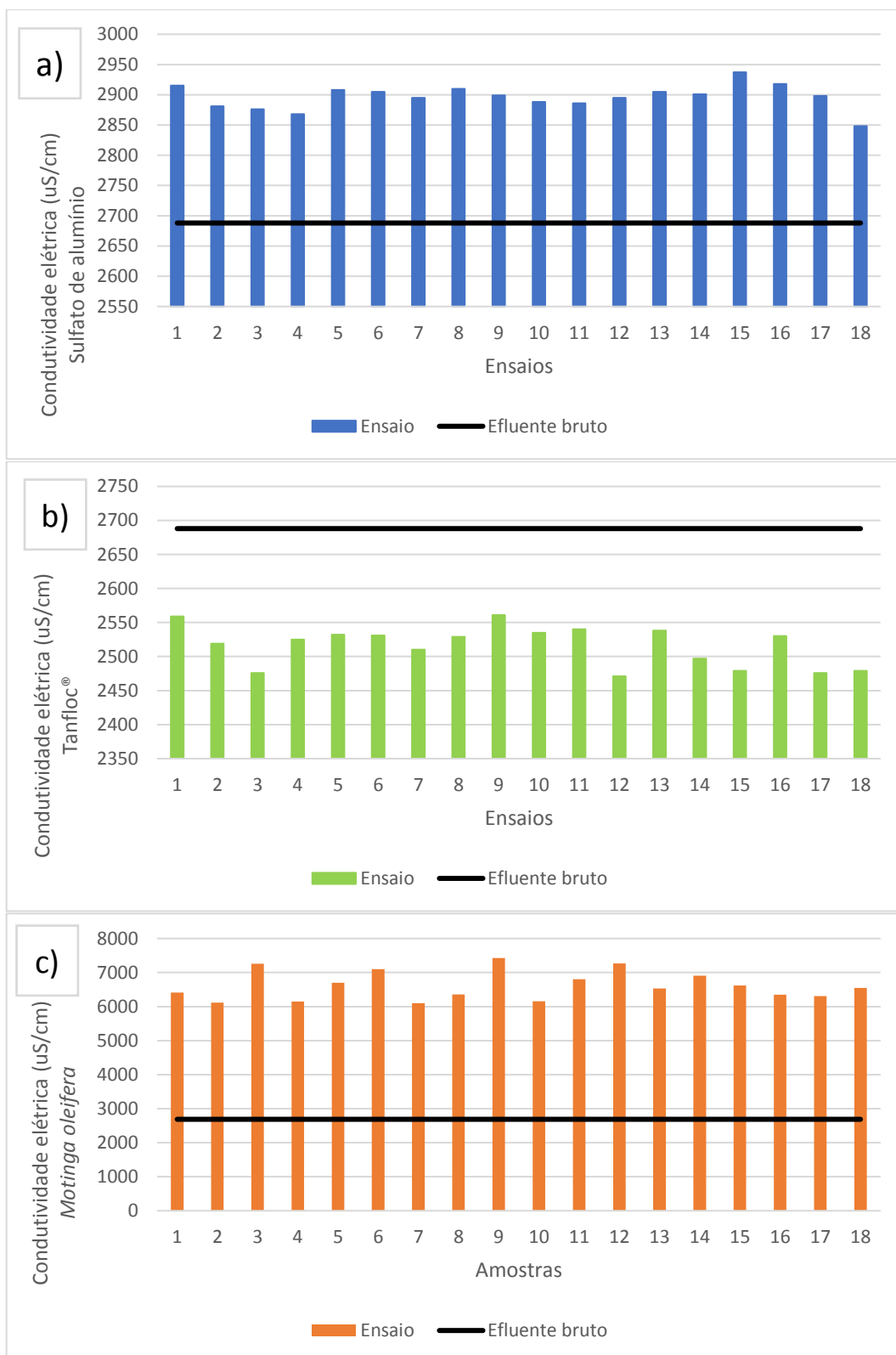
Nas análises de SANTANA et. al, estudando a eficiência do coagulante *Moringa oleifera*, todos os valores de Turbidez encontrados são menores que 23,01 NTU, havendo contraposição aos resultados encontrados para a *Moringa oleifera* que apresentou a menor turbidez de 41,8 NTU para o ensaio 2.

Ainda do trabalho de SANTANA et. al, entretanto, a Turbidez do efluente bruto foi de 32800 NTU, bastante superior ao efluente bruto aqui estudado (Tabela 5), sendo possível supor que no primeiro caso a aplicação do coagulante tenha sido mais eficiente devido à maior presença de partículas coloidais no efluente.

5.4 Condutividade elétrica

A Figura 11 ilustra os dados de Condutividade elétrica após tratamento da amostra bruta com cada coagulante.

FIGURA 11 - Condutividade elétrica (mS/cm) após aplicação dos coagulantes
Figuras 11.a – Sulfato de alumínio; 11.b - Tanfloc®; 11.c – *Moringa oleifera*



A *Moringa oleifera* e o Sulfato de alumínio apresentaram condutividade elétrica maior que os resultados encontrados para o efluente bruto em todas as amostras. Para o Tanfloc® observou-se que os valores de condutividade elétrica foram menores em comparação ao efluente bruto.

Quando adicionado à água, o sulfato de alumínio tende a reduzir o pH mediante liberação de prótons (H^+) a partir de reações de hidrólise. Em condições de menor pH, portanto, maior a condutividade do efluente tratado. (SANTANA et al., 2020).

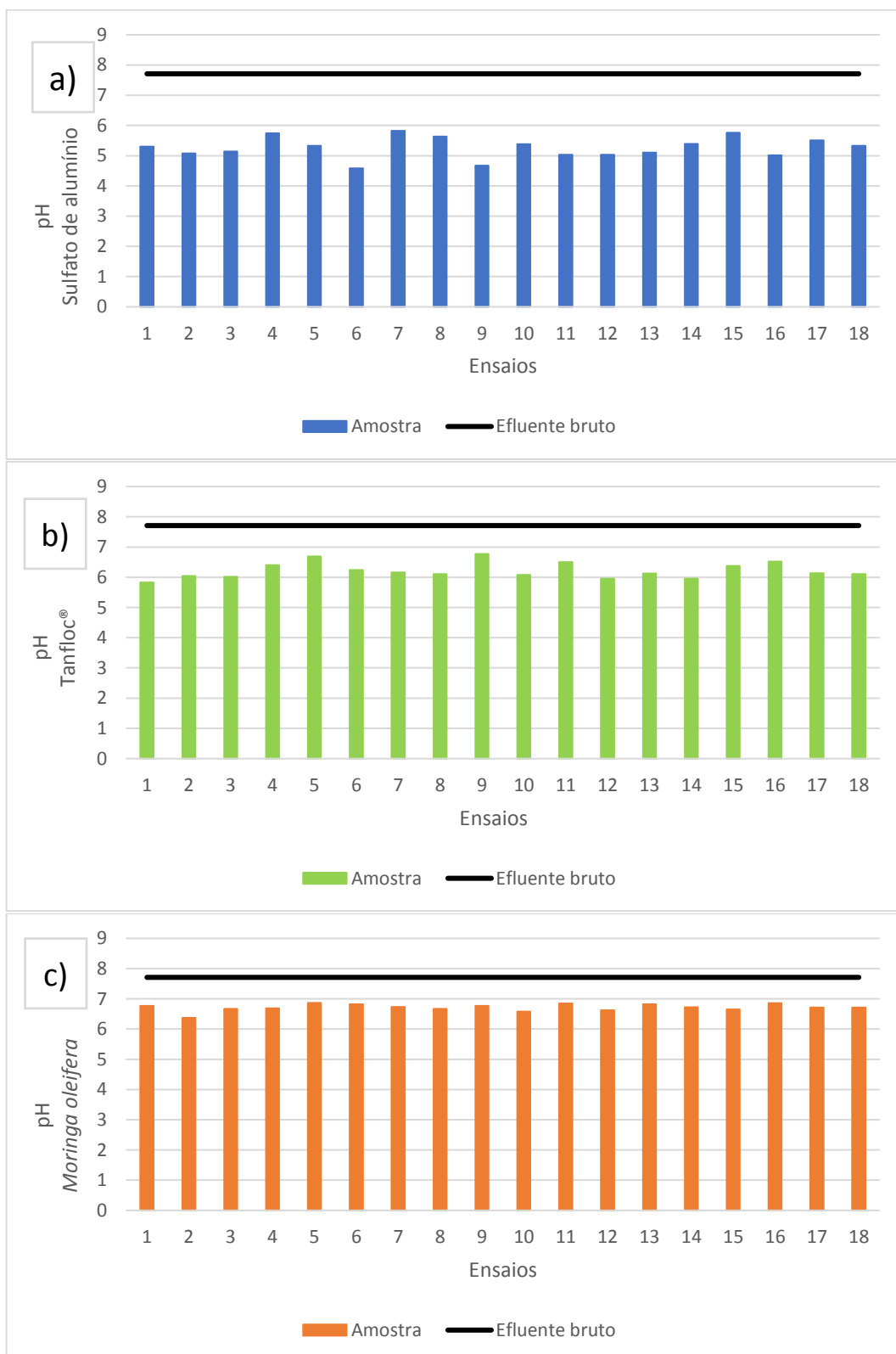
Ademais, outro fator que auxilia nessa compreensão é de que o sulfato de alumínio é um coagulante ácido, que pode alterar drasticamente o pH do meio. Em pesquisa com tratamento de águas para consumo, foi observada linearidade nos valores de pH para o Tanfloc®, justamente pelo fato de que este não tende a consumir a alcalinidade do efluente (CORAL; BERGAMASCO; BASSETTI, 2009).

A *Moringa oleifera*, por sua vez, apresentou aumento nos níveis de condutividade elétrica do efluente, sendo que o extrato salino de *Moringa oleifera* apresenta pH ácido.

5.5 pH

A Figura 12 ilustra os dados de pH após tratamento do efluente com cada coagulante.

FIGURA 12 - pH após aplicação dos coagulantes
Figuras 12.a – Sulfato de alumínio; 12.b - Tanfloc®; 12.c – *Moringa oleifera*



O pH das amostras após aplicação dos coagulantes, invariavelmente diminuiu em relação ao encontrado para a amostra bruta, na ordem de 7,71. Todavia, o coagulante a base de Sulfato de alumínio apresentou a maior redução em média, para o qual todos os ensaios apresentaram pH abaixo de 6,0.

O coagulante Tanfloc®, por sua vez, indicou valores de pH abaixo de 6,0 para os ensaios 1, 12 e 14, sendo que os demais ensaios apresentaram pH acima de 6,0.

A *Moringa oleifera*, em contrapartida, indicou pH acima de 6,0 em todos os ensaios apresentando a menor redução média em relação à amostra bruta quando comparada com os coagulantes Sulfato de alumínio e Tanfloc®

Em estudo de BARBOSA, 2018 indica-se que a condição ótima para uso do coagulante a base de *Moringa oleifera* em um tratamento de efluente para reuso se dá em pH 6,5, a partir da dosagem de 80 mL. Essa premissa é importante pois indica que, a despeito das reduções apresentadas o coagulante a base de *Moringa oleifera* ainda se manteve na faixa ótima de pH indicada na literatura.

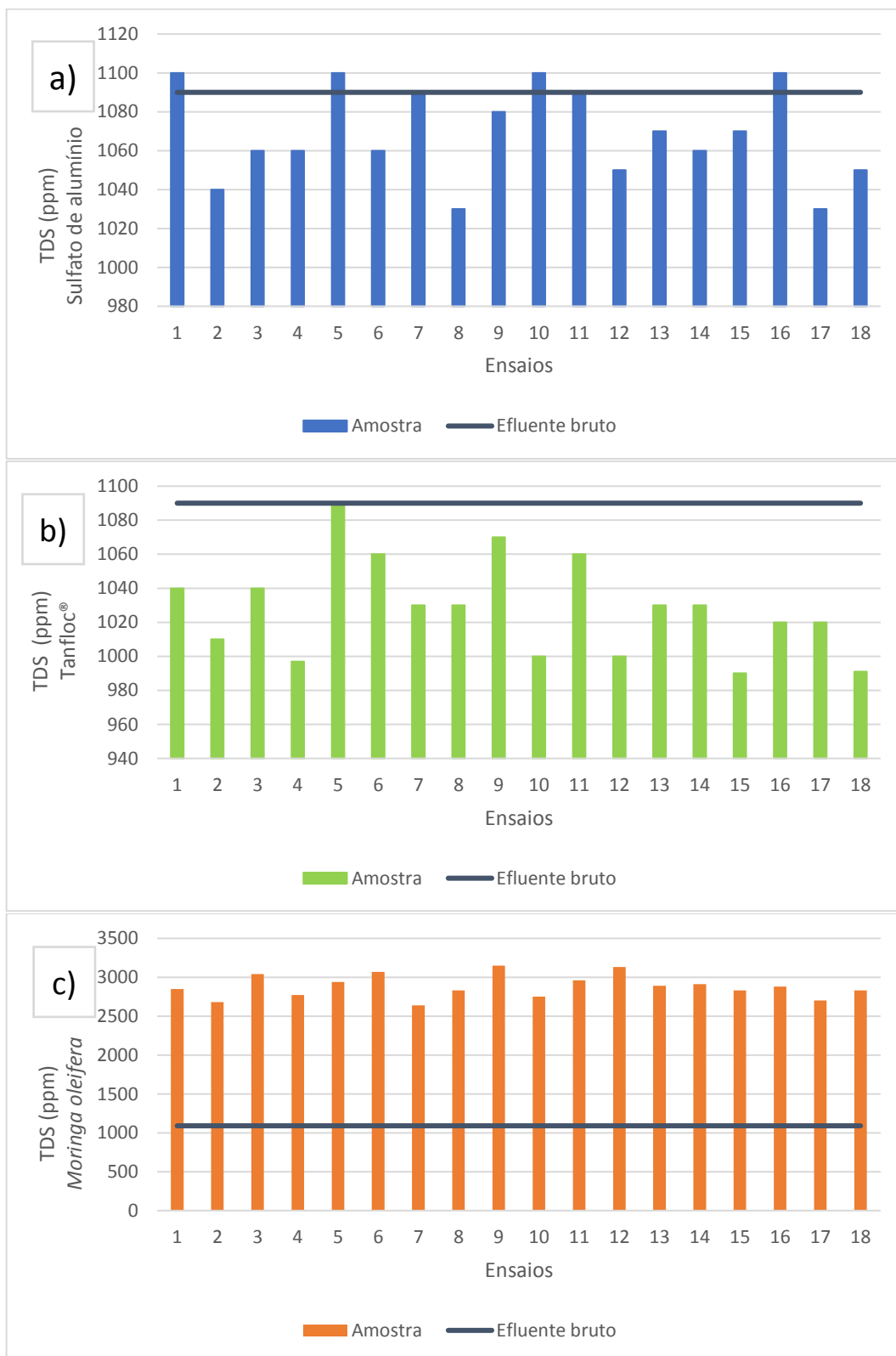
O controle de pH é importante não somente para a própria eficiência dos processos mecanismos de coagulação e floculação como também para garantir a dissolução dos metais pesados e diminuição do alumínio residual, o que só é garantido quando a coagulação ocorre na faixa de pH entre 6,0 e 7,5 (LIMA, 2015).

Estudos conduzidos por STRÖHER, 2012 em avaliação de coagulante a base de Tanfloc® para efluente têxtil indicam leve diminuição de pH, porém com estabilização dos valores sem reduções significativas, como também ocorre no presente estudo.

5.6 Sólidos Dissolvidos Totais – SDT

A Figura 13 ilustra os dados de Sólidos Dissolvidos Totais - SDT após tratamento do efluente com cada coagulante.

FIGURA 13 - Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) após aplicação dos coagulantes
Figuras 13.a – Sulfato de alumínio; 13.b - Tanfloc®; 13.c – *Moringa oleifera*



As análises de Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) indicaram comportamentos distintos entre os coagulantes estudados, sendo que apenas o coagulante Tanfloc® apresentou redução em todos os ensaios analisados.

O coagulante a base de Sulfato de alumínio apresentou resultados acima do efluente bruto, de 1100 ppm para os ensaios 1, 10, e 16 em que a dosagem utilizada foi de 25 mL/L e no ensaio 5, de 1100 ppm cuja dosagem utilizada foi de 35 mL/L, não sendo possível inferir, porém, ser esse o fator dominante para tal comportamento.

A *Moringa oleifera*, por sua vez, apresentou aumento no teor de sólidos dissolvidos em todos os ensaios analisados.

Esses resultados são particularmente interessantes na comparação com os resultados de Cor aparente, nos quais a *Moringa oleifera*, apesar de apresentar altos índices de remoção, foi o que obteve os menores índices em média.

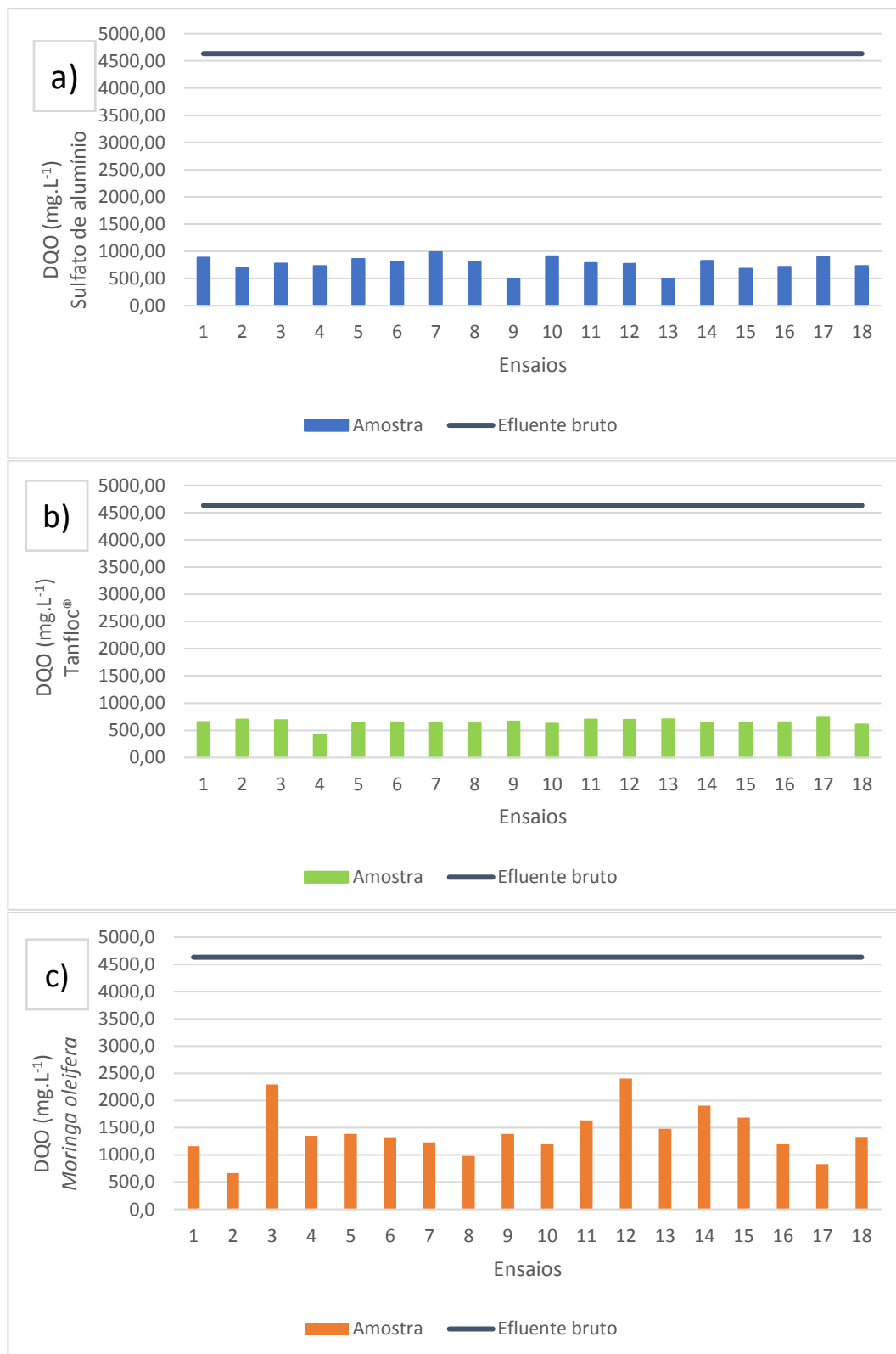
Todavia, também pode-se supor que a própria aplicação do coagulante tenha influenciado o aumento de sólidos dissolvidos. Isso pode ser observado sobretudo porque, diferentemente dos demais coagulantes, o coagulante a base de *Moringa oleifera* é uma solução salina a 1M de NaCl e a presença de sais tende a aumentar os níveis de TDS (TREVISAN, 2014).

Em relação ao coagulante orgânico Tanfloc®, estudos conduzidos por KREIN, 2009 utilizando o produto Tanfloc SS® indicam remoção de 100% de sólidos sedimentáveis e acima de 99% para sólidos suspensos. Essa disparidade entre os resultados obtidos pelo autor e a eficiência encontrada neste estudo pode reforçar a hipótese de que o coagulante também contribua para o aumento de sólidos dissolvidos na amostra.

5.7 Demanda Química de Oxigênio – DQO

A Figura 14 ilustra os dados de Demanda Química de Oxigênio - DQO em miligramas por litro (mg.L^{-1}) após tratamento do efluente com cada coagulante.

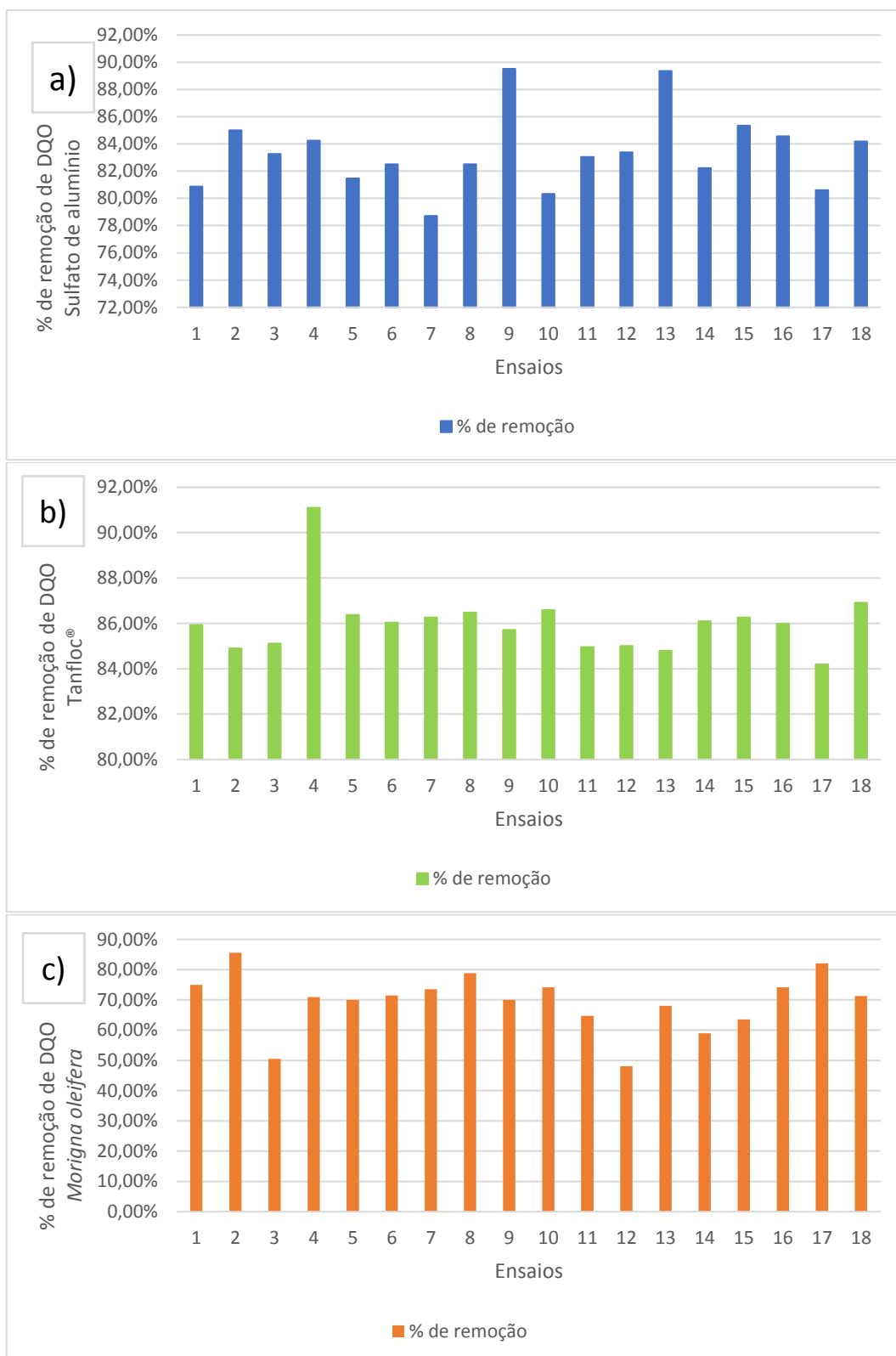
FIGURA 14 - Demanda Química de Oxigênio - DQO após aplicação dos coagulantes (mg.L^{-1})
Figuras 14.a – Sulfato de alumínio; 14.b - Tanfloc®; 14.c – *Moringa oleifera*



Complementarmente, a Figura 15 ilustra os dados de DQO em porcentagem de remoção.

FIGURA 15 - Demanda Química de Oxigênio - DQO após aplicação dos coagulantes (% de remoção)

Figuras 15.a – Sulfato de alumínio; 15.b - Tanfloc®; 15.c – *Moringa oleifera*



Após tratamento da amostra bruta com os coagulantes, observou-se que em todos os ensaios houve brusca redução do valor de DQO, que no efluente bruto era de 4632,7 mg.L⁻¹.

A experiência indicou que o Tanfloc® apresenta a menor concentração média de DQO na comparação com os demais efluentes, tendo seu valor máximo de 732,37 mg.L⁻¹ para o ensaio 17, com dosagem 110 mL e tempo de sedimentação de 30 min. O valor mínimo foi de 412,59 mg.L⁻¹ para o ensaio 4, com dosagem 100 mL e tempo de sedimentação 20 min.

O Sulfato de alumínio, por sua vez, também apresenta resultados abaixo de 1000 mg.L⁻¹ de DQO, porém com valor máximo de 898,55 mg.L⁻¹ para o ensaio 17, com dosagem 35 mL.L⁻¹ e tempo de sedimentação 30 min. O valor mínimo encontrado foi de 485,61 mg.L⁻¹ para o ensaio 9, com dosagem 45 mL e tempo de sedimentação 30 min.

A *Moringa oleifera*, por sua vez, obteve os resultados menos satisfatórios em comparação com os demais coagulantes, sobretudo nos ensaios 3 e 12 apresentando percentuais de remoção de 50,49% e 48,10% respectivamente, ambos de concentração 100 mL.L⁻¹ e tempo de sedimentação 10 min. A maior remoção encontrada foi para o ensaio 2, com dosagem 90 mL e tempo de sedimentação 10 min.

Nos estudos de NASCIMENTO, 2013 foram obtidos valores similares para a amostra bruta o que, indica o autor, sugere que o efluente possui baixa biodegradabilidade.

Apesar disso, revisões realizadas por KÜLZER; RODRIGUES, 2016 indicam estudos nos quais, para processos e efluentes similares, foram obtidas redução de DQO na casa de 80% (indústria de tintas base água), 84% (impressão em caixas) e 79% (estamparia), resultados condizentes aos encontrados no presente estudo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os coagulantes orgânicos analisados, que vêm sendo objeto de estudos ao longo dos últimos anos, apresentaram resultados em sua maioria similares aos encontrados na literatura de referência.

As dosagens mais eficientes para aplicação do Tanfloc® se situaram na faixa entre 100, 110 e 120 mL ao passo que as da *Moringa oleifera* estiveram na faixa entre 80, 90 e 100 mL. O Sulfato de alumínio, por sua vez, apresentou dosagens ótimas entre 25, 35 e 45 mL para o efluente estudado.

Todos os efluentes apresentaram resultados satisfatórios para os tempos de sedimentação entre 10, 20 e 30 minutos. Todavia, se faz necessária análise estatística mais aprofundada que correlacione a concentração do coagulante ao tempo de sedimentação a fim de se obter resultados mais assertivos.

Merece especial atenção os resultados para Turbidez, Sólidos Dissolvidos Totais - SDT e Demanda Química de Oxigênio – DQO, os quais indicaram que os coagulantes estudados apresentam comportamentos distintos entre si no tocante às eficiências de remoção e/ou na capacidade de influenciar – positiva ou negativamente – as características do próprio efluente.

Pode-se considerar, por fim, que o estudo atingiu o objetivo proposto de fornecer embasamento para a indústria objeto da pesquisa avaliar o uso de alternativas para o tratamento de seu efluente, bem como para pesquisas futuras tendo em vista aprimorar as soluções aqui evidenciadas.

Como sugestão para futuros pode-se considerar combinações entre os coagulantes estudados e avaliação de sua eficiência, bem como correlações entre os parâmetros deste estudo e outros, como o nível de agitação do efluente e variações de pH.

O encontro de soluções inovadoras e sustentáveis – ambiental, econômica e socialmente – é um papel que cabe a cada membro da sociedade, enquanto parte indivisível e indissolúvel desse mundo que chamamos de casa.

7 REFERÊNCIAS

ABRAFATI. **RELATÓRIO DE GESTÃO 2020**. [s.l: s.n.].

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Água na Indústria: Uso e Coeficientes Técnicos**. Brasília - DF: Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (SPR), 2017.

BARBOSA, A. D. Conjugação das técnicas de coagulação química (Moringa oleífera) e eletroquímica (DDB) no tratamento de efluente real de indústria de tintas. p. 83, 2018.

BRASIL. CASA CIVIL. LEI Nº 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997. . 1997.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução CONAMA Nº 357, De 17 De Março De 2005. . 2005, p. 36.

CETESB. **Tintas E Vernizes - Guia técnico ambiental Tintas e Vernizes - Série P+L**. [s.l: s.n.]. v. 1

CORAL, L. A.; BERGAMASCO, R.; BASSETTI, F. J. Estudo da Viabilidade de Utilização do Polímero Natural (TANFLOC) em Substituição ao Sulfato de Alumínio no Tratamento de Águas para Consumo. **2 International Workshop Advances in Cleaner Production**, p. 1–9, 2009.

FAZENDA, J. M. R. **Tintas - Ciência e tecnologia**. 4th. ed. [s.l.] Editora Blucher, 2009.

GIORDANO, G. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. Rio de Janeiro/RJ: [s.n.].

GUEDES, M. R. **Estudo dos processos de coagulação floculação e decantação para o tratamento de efluentes gerados em uma indústria de tintas local**. [s.l.] Universidade Federal da Paraíba - UFPB, 2018.

IBRAHIN, F.I. D., IBRAHIN, F. J., & CANTUÁRIA, E. R. **Análise Ambiental - Gerenciamento de Resíduos e Tratamento de Efluentes**. [s.l.] Editora Saraiva, 2015.

KREIN, C. L. Utilização de taninos no tratamento de efluentes industriais de tintas. 2009.

KÜLZER, B. N.; RODRIGUES, C. O. Geração E Processos Físico-Químicos De Tratamento De Efluentes Líquidos Contendo Pigmentos. **HOLOS Environment**, v. 16, n. 1, p. 58–69, 2016.

LIMA, N. M. DE. Aplicação da Moringa oleífera no tratamento de água com turbidez. p. 0–56, 2015.

NASCIMENTO, F. C. **Tratamento de efluentes da produção de tintas industriais, automotivas e de repintura por irradiação com feixe de elétrons**. São Paulo:

Universidade de São Paulo, 9 set. 2013.

PARANÁ. Lei nº 12.726 de 26 de novembro de 1999. **Diário Oficial nº 5628**, p. 1–19, 1999.

PEDROSA, A. L. **Utilização do carvão produzido a partir do capim Andropogon (Andropogon Gayanus Kunt cv. Planaltina) para o pós-tratamento de efluente de indústria de tinta por filtração**. [s.l.] Universidade Federal do Tocantins - UFT, 2019.

RODGER B. BAIRD, ANDREW D. EATON, E. W. R. Standard Methods for The Examination Of Water and Wastewater. **American Public Health Association**, 2018.

SANTANA, G. B. et al. Aplicação da semente de moringa (*Moringa oleífera*) como coagulante natural no tratamento de efluente de indústria de tintas no Ceará. **Revista Tecnologia**, v. 41, n. 1, 7 mar. 2020.

SILVA, L. F. DA. Tratamento de efluente real de indústria de tintas pelo uso de métodos conjugados de coagulação química e eletroquímico. p. 65, 2016.

STRÖHER, A. P. Caracterização e Otimização do Tratamento de Efluente Têxtil por Coagulação-Floculação , Utilizando Coagulante Natural Tanino Characterization and Optimization of Treatment of Textile Effluent by Coagulation-Flocculation , Using Natural Coagulant Tannin. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 14, n. 1, p. 79–90, 2012.

TEH, C. Y. et al. Recent Advancement of Coagulation-Flocculation and Its Application in Wastewater Treatment. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 55, n. 16, p. 4363–4389, 2016.

TREVISAN, T. S. Coagulante Tanfloc Sg Como Alternativa Ao Uso De Coagulantes Químicos No Tratamento De Água Na Eta Cafezal Trabalho De Conclusão De Curso. p. 106, 2014.

VERMA, A. K.; DASH, R. R.; BHUNIA, P. 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, jan. 2012.

YARAHMADI, M. et al. Application of Moringa Oleifer Seed Extract and Polyaluminum Chloride in Water Treatment Department of Environmental Health Engineering . **World Applied Sciences Journal**, v. 7, n. 8, p. 962–967, 2009.