

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**INARA GIACOBBO DE MARCO**

**AVALIAÇÃO DO EXTRATO DE *Urera baccifera* COMO COAGULANTE NO  
TRATAMENTO DE EFLUENTE LÍQUIDO DE INDÚSTRIA DE PESCADO**

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2021**

**INARA GIACOBBO DE MARCO**

**AVALIAÇÃO DO EXTRATO DE *Urera baccifera* COMO COAGULANTE NO  
TRATAMENTO DE EFLUENTE LÍQUIDO DE INDÚSTRIA DE PESCADO**

**Evaluation of *Urera baccifera* extract as coagulant in the treatment of liquid  
effluent from the fishing industry**

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

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Elisângela Düsman

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Paula de Oliveira  
Schmitz

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Irede Angela Lucini Dalmolin

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2021**



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

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

**INARA GIACOBBO DE MARCO**

**AVALIAÇÃO DO EXTRATO DE *Urera baccifera* COMO COAGULANTE NO  
TRATAMENTO DE EFLUENTE LÍQUIDO DE INDÚSTRIA DE PESCADO**

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

Data de aprovação: 30 de novembro de 2021

---

Elisângela Dusman  
Doutora  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Ana Paula de Oliveira Schmitz  
Doutora  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Irede Angela Lucini Dalmolin  
Doutora  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

“A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

**FRANCISCO BELTRÃO**  
**2021**

## **AGRADECIMENTOS**

O percurso do início da graduação até este momento foi, com certeza, complexo e repleto de altos e baixos. Neste caminho, contei com o auxílio de muitas pessoas incríveis, as quais, infelizmente, não serei capaz de citar todas.

Mas vamos lá! Agradeço primeiramente a minha mãe, Sandra Giacobbo, que se esforçou e me apoiou muito para que eu pudesse finalizar esse trabalho.

Agradeço aos meus amigos e colegas de laboratório Guilherme Berton e Patricia Bressiani, com a ajuda e companhia de vocês a execução dos experimentos foi muito mais fácil e divertida.

Também aos meus amigos e confidentes durante todo o curso Aline Mafra e Matheus Mineli, que incontáveis vezes me auxiliaram no laboratório, nos estudos e na vida.

A minha orientadora, professora Elisângela muito obrigada pela parceria durante todos os anos na iniciação científica, contigo aprendi muito mais do que as técnicas dos testes, mas aprendizados que vou levar para vida toda.

A professora Ana Paula, pela orientação, parceria e disponibilidade tanto na iniciação científica, como neste trabalho. A professora Irede por aceitar entrar no projeto, pela orientação e disponibilidade.

Ademais, agradeço a todos que não foram citados, mas que de alguma forma me incentivaram, ouviram ou apoiaram durante a realização deste trabalho.

“Pesquisa é ver o que todos os outros veem e  
pensar o que ninguém pensou.”  
Albert Szent-Gyorgyi

## RESUMO

O processamento de pescados envolve um elevado consumo de água, resultando na geração de grandes quantidades de efluentes líquidos. Os coagulantes inorgânicos são amplamente utilizados no tratamento desses efluentes, contudo, apresentam desvantagens como elevado custo e presença de resíduos metálicos na água tratada. Uma alternativa ao uso de coagulantes metálicos são os coagulantes naturais. Sendo assim, realizou-se a avaliação do extrato das raízes da planta *Urera baccifera* como coagulante natural para efluente de indústria de pescado. Para encontrar as melhores condições operacionais da coagulação, como planejamento experimental utilizou-se o delineamento composto centro rotacional para duas variáveis, pH e dosagem do coagulante, avaliando como resposta o percentual de redução da turbidez. A região ótima de operação, que alcançou as melhores remoções, foi observada no pH de 5 a 8 e dosagem de coagulante de 200 a 500 mL L<sup>-1</sup>. Na avaliação da toxicidade com o bioindicador *Artemia salina*, os tratamentos com maior concentração do coagulante (500 e 250 mL L<sup>-1</sup>) foram tóxicos, toxicidade que deve advir do próprio coagulante, enquanto o tratamento com menor dosagem (17 mL L<sup>-1</sup>) não apresentou toxicidade. Os resultados obtidos confirmam a efetividade do extrato das raízes da planta *Urera baccifera* como um coagulante viável para remoção de turbidez de efluentes industriais. Contudo, esse potencial deve ser explorado com cuidado pois elevou outros parâmetros físico-químicos do efluente (demanda química de oxigênio e sólidos totais) e apresentou toxicidade em dosagens elevadas.

**Palavras-chave:** coagulação; coagulantes naturais; *Urera baccifera*; *Artemia salina*.

## ABSTRACT

Fish processing involves high water consumption, resulting in the production of large amounts of liquid effluents. Inorganic coagulants are widely used in the treatment of these effluents. However, they have disadvantages such as high cost and presence of metallic residues in the treated water. One option to the use of inorganic coagulants are the natural coagulants. Therefore, the evaluation of the extract from roots of *Urera baccifera* as a natural coagulant for fish processing industry effluent was made. In order to find the better operating conditions, the experimental planning central composite rotational design for two variables (pH and coagulant dosage) was used, with the turbidity removal percentage as response variable. The optimal region of operation, that achieved the greater removals, was detected in the pH 5 to 8 and in the coagulant dosage of 200 to 500 mL L<sup>-1</sup>. In toxicity evaluation with *Artemia salina* as bioindicator, the treatments with greater coagulant dosage (500 and 250 mL L<sup>-1</sup>) shows toxicity, this toxicity must be from the coagulant itself, thus the treatment with lower coagulant dosage (17 mL L<sup>-1</sup>) did not show toxicity. These results confirm the effectiveness of the extract from roots of *Urera baccifera* as a coagulant for turbidity removal from industrial effluents. However, this potential must be used carefully, because it raised others physicochemical parameters (chemical oxygen demand and total solids) of the effluent and showed toxicity in elevated dosages.

**Keywords:** coagulation; natural coagulants; *Urera baccifera*; *Artemia salina*.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Etapas de processamento na indústria de pescado .....	15
Figura 2 - Imagem ilustrativa da <i>Ureva baccifera</i> .....	21
Figura 3 - Comparação visual entre o efluente bruto e extrato das raízes de <i>Ureva baccifera</i> .....	30
Figura 4 - Distribuição dos resíduos: valores previstos pelo modelo em relação aos valores experimentais para o percentual de redução da turbidez .....	35
Figura 5 - Superfície de resposta para o percentual de redução da turbidez em função do pH e dosagem de coagulante.....	36
Figura 6 - Taxa de sobrevivência do bioindicador <i>Artemia salina</i> para os grupos avaliados .....	38
Quadro 1 - Etapas de produção e resíduo gerados na indústria de pescado .....	16

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores codificados e reais para as variáveis do planejamento experimental .....	26
Tabela 2 - Matriz do planejamento experimental (DCCR) para duas variáveis .....	26
Tabela 3 – Parâmetros físico-químicos avaliados para o efluente bruto e extrato ....	29
Tabela 4 - Resultado das análises do planejamento experimental .....	31
Tabela 5 - Parâmetros do planejamento experimental (DCCR) para duas variáveis utilizados na análise estatística .....	33
Tabela 6 - Efeito das variáveis do planejamento DCCR 2 <sup>2</sup> para a variável resposta	33
Tabela 7 - Comparação entre os valores para redução da turbidez experimentais e preditos pelo modelo .....	34
Tabela 8- ANOVA para o percentual de redução da turbidez após tratamento com coagulante natural.....	35
Tabela 9 - Número médio e desvio padrão dos organismos <i>Artemia salina</i> vivos para os grupos avaliados .....	38

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
DQO	Demanda Química de Oxigênio
SST	Sólidos Suspensos Totais
CEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiental
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
UNT	Unidade Nefolométrica de Turbidez
ST	Sólidos Totais
SF	Sólidos Fixos
SVT	Sólidos Voláteis Totais
SS	Sólidos Sedimentáveis
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
LAQUA	Laboratório de Qualidade Agroindustrial
EB	Efluente Bruto
EX	Extrato
ND	Não Determinado
DCCR	Delineamento Composto Centro Rotacional
R <sup>2</sup>	Coefficiente de Correlação
ANOVA	Análise de Variância
EB	Efluente Bruto
EX	Extrato
ET	Efluente Tratado
SA	Sem Ajuste de pH

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	11
2	OBJETIVOS .....	13
2.1	Objetivo geral.....	13
2.2	Objetivos específicos.....	13
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	14
3.1	Consumo de pescados .....	14
3.2	Processamento de pescados .....	15
3.3	Resíduos do processamento de pescados .....	16
3.4	Tratamento de efluentes líquidos .....	17
3.5	Coagulação .....	18
3.6	Coagulantes naturais .....	20
3.7	<i>Urera baccifera</i> .....	21
3.8	Extração de taninos .....	22
3.9	Legislação ambiental .....	22
3.10	Testes físico-químicos e ecotoxicológicos.....	23
4	METODOLOGIA .....	25
4.1	Amostragem do efluente .....	25
4.2	Caracterização do efluente.....	25
4.3	Obtenção do coagulante.....	25
4.4	Coagulação .....	25
4.5	Análises físico-químicas e ecotoxicológicas.....	28
4.5.1	Teste de mortalidade/imobilidade com <i>Artemia salina</i> .....	28
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	29
5.1	Caracterização do efluente bruto e coagulante .....	29
5.2	Ensaio de coagulação .....	31
5.3	Análise estatística dos ensaios de coagulação.....	32
5.4	Avaliação da toxicidade.....	37
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	42
	REFERÊNCIAS.....	43

## 1 INTRODUÇÃO

O consumo de pescado tem aumentado ao longo dos últimos anos, chegando a um consumo mundial per capita de 20,3 kg por ano, dados preliminares indicam um consumo de 20,5 kg em 2018 (FAO, 2020). Os fatores que contribuem para esse crescimento na demanda vão de novas tecnologias de processamento, aumento de renda mundial, a um maior conhecimento dos benefícios para saúde desse alimento.

No Brasil há uma expansão da piscicultura, sendo o 4º maior produtor de tilápia no mundo, liderado pelo estado do Paraná com 33,8% da produção total em 2019 (PEIXE BR, 2020). Ainda, no país, o consumo médio per capita de pescado foi de 9,6 kg por ano entre 2013-2015, com expectativa de atingir 12,7 kg em 2025 (FAO, 2016).

A indústria de processamento de pescado utiliza um alto volume de água, em quase todas as etapas do processamento e de limpeza das instalações. Estima-se que o uso global de água seja em torno de 432 m<sup>3</sup> por dia para processamento de tilápia (MURAKAMI, 2018).

Essas indústrias, por consequência, geram grandes quantidades de efluente líquido que apresenta elevada carga de matéria orgânica (BALBINOT, 2015). Muitas vezes excedendo os parâmetros de demanda biológica de oxigênio (DBO) e óleos e graxas exigidos pela legislação para seu lançamento (BRASIL, 2011).

De maneira geral, a poluição associada as agroindústrias advêm da inexistência de sistemas de tratamento de efluentes adequados, risco de contaminação na descarga dos efluentes em águas subterrâneas ou superficiais, depósito indevido dos resíduos, localização em zonas agrícolas ou ecologicamente sensíveis e do uso de tecnologias ultrapassadas e fortemente poluentes (FABBI *et al.*, 2007).

Frequentemente, os métodos convencionais de tratamento de efluentes não garantem a remoção de contaminantes necessária para o lançamento de efluentes (DALLA PORTA, 2016). E ainda podem apresentar alto custo, dependendo do grau de poluentes a ser retirado (TENÓRIO, 2016).

Coagulantes inorgânicos e sintéticos são os mais utilizados no tratamento de efluentes. No entanto, eles elevam o custo do processo e, a água tratada pode

apresentar resíduos dos constituintes destes, como sais metálicos (SILVA; JÚNIOR; LOVATO, 2020; BONGIOVANI *et al.*, 2010). Por isso, o uso de coagulantes naturais vem ganhando destaque, pois eles atingem remoções similares aos sintéticos, têm menor custo e são biodegradáveis (RADZUAN *et al.*, 2017; SANCHÉS-MÁRTIN; BELTRÁN-HEREDIA; PERES, 2012).

A *Urera Baccifera* é uma planta nativa do Brasil, popularmente conhecida como urtigão ou urtiga-braba e amplamente utilizada graças às suas propriedades medicinais contra infecção urinária, hiperplasia de próstata, artrite, dentre outras doenças (GINDRI; SOUZA; ATHAYDE, 2013). Em sua constituição apresenta taninos, decorrentes do metabolismo secundário de plantas, composto fenólico que apresenta propriedades coagulantes (SKORONSKI *et al.*, 2014).

Para relacionar o efeito de possíveis poluentes ambientais, como os efluentes industriais, na saúde e meio ambiente pode-se utilizar a ecotoxicologia. Campo de estudo que utiliza bioindicadores para avaliar os impactos ambientais desses poluentes sobre a biota local e possíveis efeitos tróficos a saúde humana (RUBINGER, 2009).

Dessa maneira, a proposta deste trabalho foi avaliar a efetividade do extrato obtido da planta *Urera baccifera* como coagulante natural em efluente de indústria de pescados, por meio da análise de parâmetros físico-químicos e toxicológicos.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Avaliar o extrato das raízes de *Urera baccifera* como coagulante para o tratamento de efluente líquido de indústria de pescados, analisando também as características físico-químicas e toxicológicas do efluente, extrato e tratamentos realizados.

### 2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar o efluente de indústria de pescado;
- Empregar o extrato das raízes de *Urera baccifera*;
- Montar um planejamento experimental para realizar o tratamento do efluente líquido de indústria de pescado por coagulação, utilizando o extrato de *Urera baccifera* como coagulante;
- Determinar a remoção de poluentes pela análise da turbidez;
- Avaliar os efeitos tóxicos pelo teste de imobilidade/mortalidade com *Artemia salina*, do efluente bruto, extrato e melhores tratamentos.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Consumo de pescados

De acordo com a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2018), o consumo *per capita* de pescados no mundo era de 20,2 kg por ano em 2015, com estimativa de atingir 20,5 kg em 2017. Contudo, esse consumo é desigual entre diferentes países e regiões.

No Brasil, a média do consumo de pescados de 2013 a 2015 foi de 9,6 kg por pessoa por ano, com estimativa de crescimento para 12,7 kg em 2025. A produção média de pescados no país nos mesmos anos foi de 1327 mil toneladas, com produção esperada de 1972 mil toneladas para 2025 (FAO, 2016). Enquanto a produção global em 2018 foi de aproximadamente 275 milhões de toneladas (FAO, 2020).

O crescente consumo desse alimento está relacionado principalmente ao aumento de produção, desenvolvimento tecnológico, redução de perdas e desperdícios, melhores canais de distribuição e demanda crescente – derivada do aumento populacional e de mais amplo reconhecimento de seus benefícios para saúde (FAO, 2018).

Os pescados são elementos chave na manutenção de uma dieta nutritiva, pois são fontes naturais de ômega-3, aminoácidos essenciais, vitamina A e D, iodo, ferro, cálcio, zinco e outros minerais (AUBOURG, 2016; FAO, 2018). Além disso, são ricos em compostos com propriedades imunoreguladoras incluindo melatonina, triptofano, taurina e poliamidas (MENDIVIL, 2021).

Seu consumo regular favorece a proliferação de organismos benéficos na microbiota intestinal, como bactérias produtoras de gordura de cadeia curta, também está associado a redução de inflamações crônicas, como artrite reumatoide (MENDIVIL, 2021). Ainda, há evidências de benefícios, provenientes do consumo de peixe, na saúde mental, na prevenção de doenças cardiovasculares e doenças degenerativas maculares relacionadas a idade (FAO, 2018).

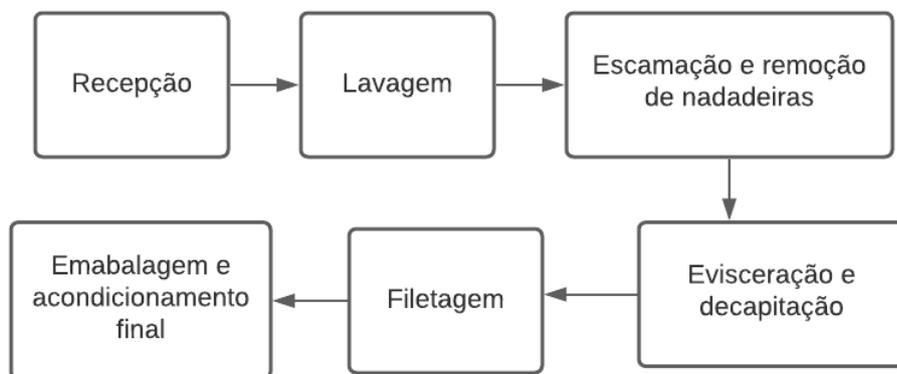
### 3.2 Processamento de pescados

Os pescados são alimentos altamente perecíveis, propensos a sofrer oxidação lipídica, devido a sua alta composição de gorduras insaturadas, impactando em fatores sensoriais e perda de qualidade nutricional (AUBOURG, 2016). Podem sofrer outras alterações advindas de autólise e decomposição bacteriana, que impactam nos mesmos fatores de qualidade (SITARAM, 2021).

Por isso, na tentativa de minimizar esses comportamentos, pode-se aplicar diferentes estratégias de resfriamento, aquecimento e/ou redução da quantidade de água. Estas podem desmembrar-se entre refrigeração, congelamento, cozimento, enlatamento, salga e secagem (AUBOURG, 2016).

Como consequência desses fatores e do produto desejado, as tecnologias e processos utilizados podem variar muito. Contudo, de uma maneira geral, as etapas do processamento de pescados podem ser representadas pela figura 1.

**Figura 1 - Etapas de processamento na indústria de pescado**



**Fonte: adaptado de Balbinot (2015)**

No Brasil, a espécie mais produzida pela piscicultura é a tilápia, representando 57% do total produzido, o estado do Paraná é o maior produtor, com 33,8% da produção (PEIXE BR, 2020). Nesse setor, a atividade de maior destaque é a produção de filé, que possui rendimento baixo, em média de 32% (FAO, 2019).

### 3.3 Resíduos do processamento de pescados

De acordo com a Agência Nacional das Águas (2017), o setor de abate e fabricação de produtos de carne está entre os cinco setores responsáveis por 65% da demanda de retirada e 83% do consumo de água pelo setor industrial no Brasil.

Estima-se que o volume de resíduo gerado pela indústria pesqueira seja superior a 50% do peso total de capturas, e seu descarte ocorre normalmente em rios, lagos e oceanos (BALBINOT, 2015), sendo que este deve ser feito em acordo com a legislação vigente. Ainda, somente cerca de 40% das espécies capturadas são usadas para alimentação humana, enquanto mais de 60% são descartadas (IDEIA *et al.*, 2020).

Os efluentes líquidos são gerados em diversas etapas do processamento, na recepção, evisceração, salmoura, lavagem do pescado, limpeza de salas e equipamentos, entre outros. Por isso, possuem composição altamente variada, proveniente dos diferentes modos de operação das indústrias, tipo de pescado processado, época do ano (BALBINOT, 2015). No Quadro 1 apresenta-se, de maneira geral, o resíduo gerado em cada uma das etapas.

**Quadro 1 - Etapas de produção e resíduo gerados na indústria de pescado**

<b>Etapas do processamento</b>	<b>Resíduo</b>
Lavagem	Efluente líquido
Escamação	Escamas
Remoção das nadadeiras	Nadadeiras
Evisceração	Vísceras
Decapitação	Sangue, cabeça
Filetagem	Carcaça, espinhaço
Limpeza de equipamentos	Efluente líquido

**Fonte: Autoria própria (2021)**

Os principais constituintes do efluente líquido de pescado são compostos orgânicos, nutrientes, óleos e sólidos suspensos derivados dos resíduos do processamento. Por isso, esses efluentes normalmente apresentam um alto valor de demanda química de oxigênio (DQO) e sólidos suspensos totais (SST). De acordo com Leal *et al.* (2015) as medidas de DQO e SST de uma indústria que produz atum, localizada em Manta (Equador) foram de 2565,6 mg L<sup>-1</sup> e 421,6 mg L<sup>-1</sup>

respectivamente, valores muito acima do limite de descarga permitido pela legislação do país, 500 mg L<sup>-1</sup> e 220 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. No Brasil, as principais legislações vigentes do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) são as resoluções número 357/2005 e 430/2011 (BRASIL, 2005; BRASIL, 2011), que não apresentam parâmetros para SST, já para a DQO, de acordo com o Conselho Estadual de Meio Ambiente (CEMA) na resolução 70/2009 (PARANÁ, 2009), para empreendimentos industriais de frigorífico, como as indústrias de pescados, seu limite para descarte é de 200 mg L<sup>-1</sup>.

Uma alternativa para diminuir os valores da matéria orgânica, turbidez, sólidos totais e nutrientes no efluente líquido final é a separação e retirada das vísceras na etapa de evisceração (AMBRÓSIO; NAVAL; LUIZ, 2015), bem como dos outros resíduos sólidos.

Diante da necessidade de um descarte de resíduos adequado, existem muitas iniciativas para melhor aproveitamento dos resíduos sólidos de indústrias pesqueiras. De acordo com Kubitza e Campos (2006), esses resíduos em geral representam grande parte do pescado inteiro, com vísceras (8-16%), pele limpa (2-6%), escamas (2-4%), cabeça (12-25%) e esqueleto com carne aderida (30-35%).

Todos esses resíduos podem ser considerados como subprodutos, pois destes podem ser extraídas proteínas, proteínas hidrolisadas e peptídeos bioativos. Especificamente, das vísceras podem ser extraídas enzimas como pepsina e tripsina, enquanto colágeno e gelatina são obtidos principalmente da pele e escamas, hidroxipatita de escamas e ossos, e lipídeos dos músculos. Todos os compostos citados possuem alto valor agregado, devido ao seu potencial para ser usados na alimentação e saúde humana (IDEIA *et al.*, 2019).

### **3.4 Tratamento de efluentes líquidos**

Inicialmente o foco do tratamento de efluentes líquidos visava a remoção de sólidos sedimentáveis, flotáveis e suspensos, matéria orgânica e organismos patogênicos. Atualmente, os efluentes são vistos como subprodutos da atividade humana, que devem servir como uma fonte renovável de energia e água potável (METCALF; EDDY, 2016).

Especificamente, o tratamento de efluentes consiste em uma série de processos químicos, físicos e biológicos com objetivo de eliminar contaminantes presentes, tendo como produto água potável. O custo do tratamento está atrelado ao volume produzido e ao seu potencial de poluição, que depende de diversos parâmetros, especialmente da temperatura, pH, DQO, turbidez e sólidos (TENÓRIO, 2016).

De acordo com Metcalf e Eddy (2016), este processo é normalmente classificado entre preliminar, primário, secundário e terciário. O tratamento preliminar consiste na remoção de sólidos grosseiros, areia e gorduras. Já o primário trata da sedimentação e neutralização do efluente, normalmente fazendo uso de coagulação, floculação e decantação. Em seguida, tem-se a remoção de matéria orgânica por microrganismos, no tratamento secundário. Por fim, o tratamento terciário visa remoção de compostos não biodegradáveis, nutrientes e poluentes tóxicos específicos pelo uso de técnicas características como ozonização e processos oxidativos avançados.

Em geral, no tratamento primário de efluentes líquidos da indústria de pescado cerca de 50% dos sólidos suspensos, 25 a 50% da DQO, 10 a 25% do nitrogênio orgânico e 10% do fósforo são removidos (DALLA PORTA, 2016). Resultado obtido, normalmente, pelo uso de coagulantes e/ou floculantes químicos que precipitam proteínas e gordura, contudo, permitem apenas uma remoção parcial dessa matéria orgânica, possuem custo elevado, além de formarem lodos com potencial de toxicidade e que requerem tratamento posterior (VALENTE *et al.*, 2010; LUCAS; KOETZ; PRZYBYLSK, 2000).

### **3.5 Coagulação**

Amplamente utilizada no tratamento primário de efluentes líquidos, a coagulação é a operação unitária responsável pela desestabilização de partículas coloidais em um meio aquoso, por meio da redução das forças atrativas ocasionando em sua aglomeração e sedimentação (FERREIRA FILHO, 2017).

Os sistemas coloidais são considerados estáveis quando todas as partículas estão dispersas. Na maioria dos sistemas a estabilidade é atingida pela estabilização

das cargas, em repulsão mútua, impedindo sua agregação (DAYARATHNE *et al.*, 2021).

Nesse sentido, são quatro os principais mecanismos empregados para desestabilizar essas suspensões: compressão da dupla camada elétrica, adsorção e neutralização da carga, adsorção de formação de pontes e enredamento em um precipitado (DAVIS, 2017). Na prática da coagulação, todos esses mecanismos acontecem simultaneamente.

Para isso, as cargas elétricas das partículas em suspensão são neutralizadas pela adição de compostos químicos com cargas positivas, como sais metálicos e polímeros (MIERZWA; HESPANHOL, 2005). No caso de sais de ferro ou alumínio, coagulantes mais usuais na indústria, esses íons, em solução aquosa ligam-se a átomos de oxigênio reduzindo o pH da suspensão, assim, levando a sua desestabilização (HENDGES *et al.*, 2019).

Além disso, encontrar as condições adequadas de operação da coagulação é essencial, pois as interações químicas e físicas envolvidas ocorrem rapidamente e dependem especialmente da concentração do coagulante, velocidade de agitação e pH (SCHIMITT, 2011). Uma opção para encontrar essas variáveis mais eficientes, antes de sua aplicação em grande escala, é avaliá-las em *jar test*.

Em termos de processo, a coagulação ocorre pela mistura rápida do coagulante com o efluente líquido, ou solução a ser coagulada, para uniformidade destes. Seguida de mistura lenta, que possibilita a formação de aglomerados (coágulos), que aumentam de tamanho em função dos choques contínuos promovidos pela agitação controlada, que posteriormente decantam durante o tempo de decantação, em que não há agitação (BITTENCOUR; PAULA, 2014).

Recentemente, estudos vem relatando problemas relacionados ao uso de coagulantes químicos, como o alto custo, produção de lodo residual, aumento da corrosividade, indícios de metais pesados e toxicidade da água tratada (GIRARDI, 2009; DAYARATHNE *et al.*, 2021). Fato que motiva a busca por coagulantes alternativos.

### 3.6 Coagulantes naturais

Uma alternativa sustentável ao uso de coagulantes inorgânicos e sintéticos no tratamento de efluentes são os coagulantes naturais, que podem ser derivados de microrganismos, animais e plantas. Nesse sentido, sementes de *Moringa oleifera* (planta tropical), quitosana (polissacarídeo derivado de crustáceos) e alguns taninos possuem destaque por apresentarem alta eficiência (SILVA; JUNIOR; LOBATO, 2020; RADZUAN *et al.*, 2017).

As principais vantagens apresentadas pelo uso dos coagulantes naturais estão relacionadas a sua biodegradabilidade, eliminação ou diminuição da toxicidade e corrosividade na água tratada e uma menor produção de lodo. Além de normalmente serem abundantes na natureza, de baixo custo e multifuncionais (SILVA; JUNIOR; LOBATO, 2020; RADZUAN *et al.*, 2017).

Ainda, os coagulantes naturais atingem remoções semelhantes à dos comerciais. De acordo com Sánches-Mártin, Beltrán-Heredia e Peres (2012), extrato obtido de sementes de *Moringa oleifera* apresentaram performance similar ao sulfato de alumínio ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ) e ao agente floculante catiônico de poliácridamida (CS-49) na remoção da turbidez de água do rio Guardian (Badajoz, Espanha), sendo superior a outros três floculantes comerciais analisados (AS-23, CS-21, AS-10).

Já existem até opções de coagulantes naturais vendidas comercialmente, como o tanino Tanfloc (produzido pela Tanac), um polímero orgânico catiônico, de origem vegetal de sementes de acácia negra (*Acacia mearnsii*) capaz de auxiliar nos tratamentos de águas e efluentes industriais em geral atuando como coagulante e floculante (BITTENCOUR; PAULA, 2014; TANAC, 2021).

Nesse sentido, a busca por outras plantas com propriedades coagulantes é de grande relevância. Uma vez que têm potencial para substituir os coagulantes inorgânicos no tratamento de efluentes industriais, diminuindo o custo do processo e seus impactos ambientais.

### 3.7 *Urera baccifera*

A planta *Urera baccifera* (Figura 2) popularmente conhecida como urtigão ou urtiga-braba, pertence à família Urticaceae. É uma pequena árvore nativa no Brasil, com ocorrência em todas as regiões do país, encontrada em florestas úmidas, semidecíduas e matas ciliares (GAGLIOTI; SUCHORONCZEK, 2020).

**Figura 2 - Imagem ilustrativa da *Urera baccifera***



**Fonte: Autoria própria (2021)**

O urtigão apresenta propriedades medicinais, sendo usado popularmente como diurético, depurativo, anti-inflamatório, antidiabético, antirreumático, entre outros (SCHWIRKOWSKI, 2009). Especificamente, na região central do Rio Grande do Sul suas folhas e raízes são utilizadas no tratamento de hiperplasia de próstata, infecção urinária e artrite (GINDRI; SOUZA; ATHAYDE, 2013).

Além disso, a *Urera baccifera* é amplamente utilizada para tratar distúrbios gástricos, também na medicina popular. Essa sua aplicação foi confirmada em teste de extrato hidroalcoólico de suas folhas em roedores, em que apresentou efeito gastoprotetor reduzindo o dano oxidativo, migração de neutrófilos e atividade péptica (BENVENUTTI, 2020).

A análise fitoquímica do extrato bruto da raiz da planta realizada por Gindri *et al.* (2010), para metabolitos doseados determinou 29,76 mg g<sup>-1</sup> de polifenóis totais, 16,42 mg g<sup>-1</sup> de flavonoides, 1,58 mg g<sup>-1</sup> de alcaloides totais e 19,11 mg g<sup>-1</sup> de taninos condensados. Sendo que os taninos, como citado por Stroher *et al.* (2013), são compostos que apresentam propriedades coagulantes.

### 3.8 Extração de taninos

Os taninos são compostos fenólicos capazes de precipitar proteínas, com peso molecular intermediário a alto, podendo ser encontrados como monômeros, oligômeros ou polímeros (SANTIAGO *et al.*, 2020). Essa substância tem sido usada na estabilização de cerveja, curtimento de pele animal, produção de resinas e como agente coagulante no tratamento de água (ALMEIDA; MAI; PUGET, 2016). Nesse sentido, os taninos são coagulantes vegetais efetivos em uma ampla faixa de pH, que dispensam a adição de metais ao processo (STROHER *et al.*, 2013).

Um dos métodos mais conhecidos para extração destes compostos a partir de plantas é utilizar extrator do tipo Soxhlet fazendo uso de diferentes solventes polares como água, etanol ou metanol (ALMEIDA; MAI; PUGET, 2016). Outra opção é utilizar um banho ultrassônico, de acordo com Alves *et al.* (2019) este método não apresentou diferenças significativas entre os solventes etanol 70%, água destilada e metanol 50%.

A quantidade de taninos totais é característica própria de cada espécie, contudo o teor de taninos obtidos após o processo de extração não está necessariamente relacionado ao teor de taninos da planta, pois o extrato pode apresentar inúmeros outros compostos (PANSERA *et al.*, 2003). Além disso, cada planta deve ser avaliada por diferentes métodos e/ou solventes para o procedimento de extração dos taninos, para confirmar que o rendimento obtido é o maior possível.

### 3.9 Legislação ambiental

Desde a constituição de 1998 a água é reconhecida como bem ambiental, imprescindível a qualidade de vida. A chamada constituição cidadã também previu o

retorno de resíduos e efluentes a natureza com a menor carga de poluentes possíveis (IBRAHIN; IBRAHIN; CANTUÁRIA, 2015).

Atualmente, a resolução número 357/2005 do CONAMA (BRASIL, 2005) traz a classificação dos corpos de água e diretrizes de enquadramento. As águas doces de classe 1 não devem possuir efeito tóxico crônico aos organismos, comprovado por ensaio ecotoxicológico, apresentar virtualmente ausentes óleos e graxas, odor e gosto e resíduos sólidos. Ainda, deve conter DBO (5 dias a 20°C) de até 3 mg L<sup>-1</sup> O<sub>2</sub>, turbidez até 40 UNT, pH de 6 a 9, sólidos dissolvidos totais até 500 mg L<sup>-1</sup>, entre outros parâmetros.

Já a resolução número 430 de 2011 do CONAMA (BRASIL, 2011) dispõem sobre as condições e padrões para o lançamento de efluentes nos corpos receptores. Estes resíduos podem ser lançados direta ou indiretamente desde que o pH esteja entre 5 e 9, óleos vegetais e gorduras animais até 50 mg mL<sup>-1</sup>, materiais sedimentáveis até 1 mL L<sup>-1</sup> em 1 hora em cone *Inmhoff*, remoção mínima de 60% da DBO em 5 dias a 20°C.

Além destas, existem também as resoluções estaduais, como a resolução número 70/2009 do CEMA que dispõem sobre o licenciamento ambiental de empreendimentos industriais (PARANÁ, 2009), abordando em seu anexo 7 as condições e padrões para lançamento de efluentes líquidos industriais para cada tipo de empreendimento. Especificamente, para frigoríficos, define o limite máximo para os parâmetros de DBO (60 mg L<sup>-1</sup>), DQO (200 mg L<sup>-1</sup>) e óleos e graxas (50 mg L<sup>-1</sup>).

### **3.10 Testes físico-químicos e ecotoxicológicos**

A caracterização de parâmetros físico-químicos de efluentes é crucial para que seu lançamento seja adequado, de acordo com os parâmetros exigidos pela legislação. Dentro destes parâmetros destaca-se a DQO, turbidez e sólidos.

Para determinação da DQO, parte-se do fato de que todos os compostos orgânicos, com poucas exceções, podem ser oxidados por um agente oxidante em forte meio ácido (CIKOSKI, 2013). Dessa maneira, tanto a matéria orgânica biodegradável como a não-biodegradável são contabilizadas em mg L<sup>-1</sup> de O<sub>2</sub>. (EATON, 2012).

Já a turbidez representa o grau de interferência a passagem de luz através de um líquido, deixando-o com aparência turva e nebulosa (SCHONINGER, 2020). Característica que ocorre devido a presença de sólidos em suspensão, que é medida e expressa em Unidade Nefolométrica de Turbidez (UNT) (EATON, 2012).

Os sólidos contidos em uma amostra podem ser determinados por diferentes métodos, pela análise de sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF), sólidos voláteis totais (SVT), sólidos suspensos totais (SST), sólidos sedimentáveis (SS), sólidos dissolvidos totais (SDT), entre outros (MATTOS et al., 2018). Ainda, a concentração de sólidos influencia em outros parâmetros físico-químicos como na turbidez e cor aparente.

Por outro lado, apesar de o padrão de qualidade exigido para o lançamento de efluentes estar baseado somente em parâmetros físico-químicos, estes são insuficientes para avaliar todos os componentes presentes nestas amostras e seu potencial efeito tóxico em seres vivos (SOUZA, 2017).

Além disso, a análise química dos efluentes possui custos elevados e não garante a detecção de todos os compostos presentes (RUBINGER, 2009). Por isso, é importante utilizar também testes ecotoxicológicos, que permitem correlatar as concentrações da amostra com os possíveis efeitos adversos sobre a biota local, bem como efeitos indiretos na saúde humana.

Os bioindicadores são organismos que apresentam rápida mudança na presença de alterações ambientais, podendo ser utilizados em ambientes aquáticos bem como em terrestres (BRAZ; LONGO, 2021). Dentre a ampla gama de bioindicadores disponíveis atualmente, a *Artemia salina* – um microcrustáceo utilizado para a alimentação de peixes – é aplicada em diversos estudos de toxicidade graças ao seu baixo custo e facilidade de cultivo (GARCEZ et al., 2017).

Além disso, a *A. salina* é adaptável a uma ampla gama de salinidade (5 - 250 g L<sup>-1</sup>), temperatura (6 - 35 °C), possuem ciclo de vida curto e aceitam uma grade variedade de nutrientes (NUNES et al., 2006). Também por isso esses organismos se tornaram amplamente utilizados em estudos toxicológicos e ecotoxicológicos.

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Amostragem do efluente**

O efluente líquido foi obtido em indústria de pescado localizada na região Sudoeste do Estado do Paraná. A amostragem foi realizada em uma única coleta em 19 de junho de 2021.

### **4.2 Caracterização do efluente**

O efluente bruto foi encaminhado para o Laboratório de Qualidade Agroindustrial (LAQUA), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Pato Branco, para realização das análises físico-químicas, avaliando os seguintes parâmetros: óleos e graxas, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos e sólidos totais. As análises foram realizadas seguindo as metodologias descritas no “Standard Methods” (APHA, AWWA e WEF, 1998).

### **4.3 Obtenção do coagulante**

Em estudos preliminares (dados não apresentados), verificou-se que o extrato proveniente da raiz da *Urera baccifera* mostrou-se mais eficaz para coagulação do que o extrato produzido a partir das folhas da planta.

Dessa maneira, optou-se por utilizar o extrato das raízes da *Urera baccifera* como coagulante neste trabalho. O extrato foi produzido em parceria com a empresa América Verde Fármacos, sendo que o processo extrativo se encontra sob sigilo.

### **4.4 Coagulação**

Foram avaliadas as condições de operação do processo de coagulação que maximizem a eficiência da remoção de poluentes, por meio de um planejamento experimental feito através de delineamento composto centro rotacional (DCCR) com duas variáveis independentes (pH e dosagem do coagulante). Para isso foram

definidos 11 ensaios: 4 relativos ao planejamento fatorial  $2^2$  (níveis +1 e -1) para obtenção dos parâmetros lineares do modelo de regressão, 4 referentes aos pontos axiais (níveis +1,41 e -1,41) indicando os parâmetros quadráticos do modelo de regressão e 3 pontos centrais (nível 0) para avaliação do erro experimental envolvido. Na Tabela 1 são apresentadas as variáveis do delineamento experimental e seus níveis.

**Tabela 1 - Valores codificados e reais para as variáveis do planejamento experimental**

Variáveis operacionais	Níveis				
	-1,41	-1	0	1	1,41
pH	4,2	5,0	7,0	9,0	9,8
Dosagem de coagulante (mL L <sup>-1</sup> )	17	100	300	500	583

Fonte: Autoria própria (2021)

A partir desses níveis, a matriz do planejamento foi construída fazendo 11 combinações das variáveis independentes, apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2 - Matriz do planejamento experimental (DCCR) para duas variáveis**

Ensaio	Variáveis reais		Variáveis codificadas	
	pH	Dosagem de coagulante (mL L <sup>-1</sup> )	pH	Dosagem de coagulante
1	5,0	100	-1,00	-1,00
2	5,0	500	-1,00	1,00
3	9,0	100	1,00	-1,00
4	9,0	500	1,00	1,00
5	4,2	300	-1,41	0,00
6	9,8	300	1,41	0,00
7	7,0	17	0,00	-1,41
8	7,0	583	0,00	1,41
9 (C)*	7,0	300	0,00	0,00
10 (C)*	7,0	300	0,00	0,00
11 (C)*	7,0	300	0,00	0,00

(C)\* - ponto central.

Fonte: Autoria própria (2021)

O percentual de redução da turbidez foi definido como variável resposta para o planejamento experimental e submetido a análise estatística. O modelo matemático que relaciona as variáveis independentes (pH e dosagem de coagulante) com a

variável dependente (percentual de remoção da turbidez) está apresentado na Equação 1.

$$D = a_0 + a_1q_1 + a_2q_2 + b_{12}q_1q_2 + b_{11}q_1^2 + b_{22}q_2^2 \quad (1)$$

Em que: D é a resposta experimental (percentual de remoção da turbidez)

$q_1$  é um parâmetro operacional ajustado (pH)

$q_2$  é um parâmetro operacional ajustado (dosagem de coagulante)

$a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_{11}$ ,  $b_{12}$  e  $b_{22}$  são parâmetros ajustados do modelo que definem regressão polinomial de segunda ordem.

Os coeficientes do modelo de regressão foram avaliados pelo teste t *Student* com nível de significância de 5%. Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) para avaliação dos parâmetros estatisticamente significativos com nível de significância de 5%. Para validação dos coeficientes do modelo, estes foram avaliados pelo teste F de Fisher, ao nível de 5% de significância. Além disso, os resultados foram avaliados por superfície de resposta e distribuição dos resíduos.

Além do planejamento experimental, realizou-se um ensaio a mais (ponto SA), com dosagem do coagulante de 250 mg L<sup>-1</sup> no pH original do efluente, advindo de observações laboratoriais para avaliar as condições da coagulação sem ajuste de pH.

Os ensaios de coagulação foram realizados em equipamento *jar test* (Milan, modelo 2036P). Inicialmente realizou-se o ajuste do pH do efluente, seguido da adição do coagulante, seguida da mistura rápida e lenta (com controle da velocidade de agitação feito pelo próprio equipamento). Passado o tempo de decantação, foi realizada a coleta do sobrenadante para análises posteriores.

Para execução do planejamento experimental foram considerados como variáveis o pH – ajustado pela adição de solução de ácido clorídrico ou hidróxido de sódio na concentração de 1 mol L<sup>-1</sup> – e, a dosagem do coagulante – medida em provetas graduadas. Enquanto o tempo de mistura rápida (30 segundos em 100 RPM), mistura lenta (15 minutos em 25 RPM), tempo de decantação (15 minutos) e temperatura foram parâmetros constantes em todo planejamento.

#### 4.5 Análises físico-químicas e ecotoxicológicas

Todas as amostras coletadas do planejamento experimental, bem como o efluente bruto e o extrato de *Urera baccifera* foram avaliados com relação aos seguintes parâmetros: DQO (método de refluxo fechado), turbidez (turbidímetro AP 2000 Policontrol), sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis. Essas análises foram realizadas seguindo a metodologia descrita no “Standard Methods” (APHA, AWWA e WEF, 1998).

Além disso, o efluente bruto, o extrato de *Urera baccifera* e os melhores tratamentos do planejamento experimental tiveram sua toxicidade avaliada com o bioincador *Artemia salina*.

##### 4.5.1 Teste de mortalidade/imobilidade com *Artemia salina*

Inicialmente, cistos de *Artemia salina* foram incubados durante 48 horas em solução de sal marinho sintético (30 g L<sup>-1</sup>), aerados, com luminosidade e temperatura de 25 °C, para induzir sua eclosão.

Após a eclosão, 10 náuplios foram transferidos para placas de 24 poços contendo 2 mL das amostras, diluídas em solução salina nas concentrações de: 100, 50, 25, 12,5, 6,2 e 3,1%. Contando com dois grupos de controle, um com as mesmas concentrações de solução salina (CO- S) e outro com 2 mL de água destilada (CO- D). Foram realizadas quadruplicatas de cada grupo amostral e, após 24 horas de incubação, foi realizada a contagem do número de náuplios mortos, consideradas como tal aqueles que permanecerem imóveis durante 20 segundos de observação.

A análise estatística dos dados foi feita por análise de normalidade (Anderson-Darling, Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk e Ryan-Joiner) e variância (Levene), pelo programa *Action Stat*. Quando os resultados não apresentam normalidade e nem homoscedasticidade, aplica-se o teste de comparação de médias adequado de Kruskal-Wallis ( $\alpha=0,05$ ;  $n=4$ ).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Caracterização do efluente bruto e coagulante

Os dados referentes a caracterização do efluente bruto (EB), coletado na indústria de pescado, bem como do coagulante utilizado – extrato produzido a partir das raízes da planta *Urera baccifera* (EX) – estão dispostos na Tabela 3. Ainda, a Figura 3 apresenta uma comparação visual entre o efluente bruto e o extrato da planta.

**Tabela 3 – Parâmetros físico-químicos avaliados para o efluente bruto e extrato**

Parâmetros	EB	EX
pH	6,6	5,2
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	447,1	24.538,7
Turbidez (UNT)	42,40	0,02
ST (mg L <sup>-1</sup> )	526	34.938
SF (mg L <sup>-1</sup> )	338	7.722
STV (mg L <sup>-1</sup> )	188	27.219
SST (mg L <sup>-1</sup> )	486,5	ND
SS (mg L <sup>-1</sup> )	3,5	ND
SDT (mg L <sup>-1</sup> )	407	ND
Óleos e graxas	*	ND

EB – efluente bruto; EX – extrato; DQO – demanda química de oxigênio; ST – sólidos totais; SF – sólidos fixos; STV – sólidos totais voláteis; SST – sólidos suspensos totais; SS – sólidos sedimentáveis; SDT – sólidos dissolvidos totais; \* – não detectável; ND – não determinado.

**Fonte: Autoria própria (2021)**

Comparando os resultados obtidos com os padrões exigidos para lançamentos de efluentes dispostos na resolução 430/2011 do CONAMA (BRASIL, 2011), verificou-se que o pH, bem como óleos e graxas (não detectados pelo método de extração com solvente orgânico), já estão de acordo com os valores referência para descarte de efluentes propostos nesta legislação, mesmo sem a realização de tratamento.

No caso dos parâmetros de turbidez e SDT, não há recomendação de valor limite para descarte de efluentes em relação a estes. Porém, na resolução 357/2005 do CONAMA (BRASIL, 2005), apresentam-se os valores de referência para corpos receptores, sendo que o efluente após o tratamento só pode ser descartado nesses ambientes caso não altere sua qualidade e não exceda o limite máximo permitido. Dessa forma, para águas doces de classe 1, em relação a turbidez, o limite máximo é

40 UNT e para SDT de até 500 mg L<sup>-1</sup>. Assim, faz-se necessária a redução da turbidez e verificando-se o já enquadrando no parâmetro de SDT.

**Figura 3 - Comparação visual entre o efluente bruto e extrato das raízes de *Urera baccifera***



A – efluente bruto; B – extrato das raízes de *Urera baccifera*.

**Fonte: Autoria própria (2021)**

Para DQO, de acordo com a resolução 70/2009 da CEMA (PARANÁ, 2009), esta deve ser de até 200 mg L<sup>-1</sup>, para o setor de abate de animais, em que se enquadra o processamento de pescados, necessitando redução antes do lançamento deste efluente. Sendo assim, somente os parâmetros de turbidez e DQO do efluente bruto coletado estão em desacordo com as legislações vigentes.

Dessa maneira, notou-se que o efluente bruto coletado não apresentava os parâmetros esperados, pois, de acordo com a literatura, os efluentes de pescado apresentam elevada DQO, SST e óleos e graxas, com valores muito acima do permitido pela legislação (LEAL et al., 2015; DUARTE, 2013). Podem ser muitos os fatores que levaram a este resultado, desde o fato de que na época da coleta estavam ocorrendo fortes chuvas na região, o que pode ter alterado a composição da lagoa onde o efluente bruto fica disposto, até o modo de operação utilizado na empresa e volume de pescados processados próximos a data da coleta.

Avaliando as respostas obtidas para o extrato de *Urera baccifera* (Tabela 3), nota-se que sua DQO é expressivamente alta, possivelmente pela própria característica da raiz da planta de conter muitos compostos e metabolitos, apresentando elevada concentração de polifenóis totais, flavonoides e taninos

condensados, como descrito por Gindri *et al.* (2010). Os valores de sólidos totais, fixos e totais voláteis também foram altos. Contudo, o extrato não apresenta turbidez, por isso, o percentual de remoção da turbidez foi o parâmetro utilizado como resposta para os ensaios de coagulação.

## 5.2 Ensaio de coagulação

Para o planejamento experimental dos ensaios de coagulação, os resultados da turbidez, ST, SF, STV e DQO estão dispostos na Tabela 4. Nesta, também são apresentados os resultados obtidos para o ensaio SA (sem ajuste de pH), acrescentado experimentalmente.

**Tabela 4 - Resultado das análises do planejamento experimental**

Ensaio	Turbidez (UNT)	ST (mg L <sup>-1</sup> )	SF (mg L <sup>-1</sup> )	STV (mg L <sup>-1</sup> )	DQO (mg L <sup>-1</sup> )
1	19,5	3.028	904	2.124	1.329,7
2	19,3	9.412	2.442	6.790	19.656,7
3	19,8	2.378	826	1.552	7.631,4
4	14,8	10.028	2.476	7.552	19.463,9
5	17,4	7.808	1.850	5.958	10.252,3
6	20,2	6.816	1.828	4.988	7.804,8
7	23,7	822	388	434	7.284,5
8	9,4	10.340	2.760	7.580	5.357,4
9	12,8	6.526	1.826	4.700	3.603,7
10	4,7	6.454	1.652	4.802	3.256,8
11	8,5	6.622	1.754	4.868	11.665,5
SA	11,5	5.786	1.600	4.186	4.008,4

ST – sólidos totais; SF – sólidos fixos; STV – sólidos totais voláteis; DQO – demanda química de oxigênio; SA – ensaio acrescentado experimentalmente sem ajuste de pH.

**Fonte: Autoria própria (2021)**

É possível notar o aumento de todos os parâmetros avaliados se comparados ao efluente bruto (Tabela 4), exceto turbidez. Para as análises de sólidos e DQO esse resultado deve ser resultado da mistura do extrato com o efluente no sobrenadante da coagulação, uma vez que o apenas o efluente apresentava valores baixos para esses parâmetros, enquanto somente o extrato de *Urera baccifera* apresentava valores altos, resultando em valores intermediários. Da mesma maneira, pode-se estender essa avaliação para a turbidez, que apresentava valor elevado no efluente

bruto e valor mínimo para o coagulante, resultando em uma redução deste parâmetro em todos os pontos avaliados do planejamento experimental.

Em outro trabalho, que realizou o tratamento de efluente líquido de lavagem de jeans por coagulação com sementes de *Moringa oleifera*, atingiu-se remoção de 78% da turbidez e aumento de 12,4% para a DQO devido a matéria orgânica presente nas sementes (STROHER *et al.*, 2013). Resultados similares foram obtidos no estudo, utilizando o extrato das raízes de *Urera baccifera* como coagulante, pois a remoção da turbidez atingiu 88,4% (Tabela 4 - ensaio 10) e o aumento na DQO foi de até 97% (Tabela 4 - ensaios 2 e 4), também devido a concentração de matéria orgânica presente no extrato. Dessa maneira, avalia-se que a DQO não é um parâmetro indicado para avaliar a resposta de ensaios de coagulação em que o coagulante possui alta concentração de matéria orgânica.

O ensaio SA, acrescentado experimentalmente para avaliar a coagulação sem realizar ajuste de pH, apresentou remoção de turbidez consideravelmente alta (72,9%), bem como um valor razoavelmente baixo para sólidos totais (5786 mg L<sup>-1</sup>) comparado aos outros tratamentos. Dessa maneira, mostrando-se um ponto promissor, considerando que dispensa a etapa de ajuste do pH.

### **5.3 Análise estatística dos ensaios de coagulação**

A análise estatística do planejamento experimental DCCR 2<sup>2</sup> com os 11 ensaios foi realizada para avaliar as melhores condições (pH e dosagem de coagulante) para a coagulação, tendo como parâmetro resposta (variável dependente) o percentual de redução da turbidez. Os dados utilizados para análise estatística são apresentados na Tabela 5.

A partir da análise dos dados da Tabela 5, foram obtidos os valores para os coeficientes lineares e quadráticos do modelo ajustado para o percentual de redução da turbidez do efluente (variável resposta), o valor dos principais efeitos, desvio padrão e os coeficientes calculados para o teste t de *Student*. Esses valores estão dispostos na Tabela 6.

**Tabela 5 - Parâmetros do planejamento experimental (DCCR) para duas variáveis utilizados na análise estatística**

Ensaio	pH	Dosagem de coagulante (mL L <sup>-1</sup> )	Redução da turbidez (%)
1	5,0	100	55,5
2	5,0	500	62,6
3	9,0	100	43,7
4	9,0	500	57,9
5	4,2	300	65,9
6	9,8	300	42,5
7	7,0	17	42,0
8	7,0	583	76,9
9	7,0	300	68,6
10	7,0	300	88,4
11	7,0	300	79,1

Fonte: Autoria própria (2021)

**Tabela 6 - Efeito das variáveis do planejamento DCCR 2<sup>2</sup> para a variável resposta**

Fatores	Coefficientes do modelo	Efeitos	Desvio padrão	Coefficientes ajustados	t <sub>calculado</sub>	p
Intercepto	a <sub>0</sub>	78,69	4,73	78,69	16,61	0,000014
pH (q <sub>1</sub> )	a <sub>1</sub>	-12,39	2,90	-6,19	-2,14	0,085686
pH (q <sub>1</sub> <sup>2</sup> )	b <sub>11</sub>	-25,43	3,45	-12,72	-3,68	0,014261
Dosagem de coagulante (q <sub>2</sub> )	a <sub>2</sub>	17,67	2,90	8,84	3,05	0,028567
Dosagem de coagulante (q <sub>2</sub> <sup>2</sup> )	b <sub>22</sub>	-20,22	3,45	-10,11	-2,93	0,032764
q <sub>1</sub> x q <sub>2</sub>	b <sub>12</sub>	3,59	4,10	1,79	0,44	0,679432

Fonte: Autoria própria (2021)

Analisando os valores dispostos na Tabela 6, verifica-se que os fatores pH (termo quadrático) e dosagem de coagulante (termo linear e quadrático) são estatisticamente significativos ao nível de 5% de significância ( $p < 0,05$ ). Dessa maneira, a equação do modelo matemático é representada pela Equação 2.

O modelo matemático proposto ajustou-se razoavelmente aos dados obtidos para redução da turbidez, apresentando um coeficiente de correlação ( $R^2$ ) de 86,23%. Comparando os valores obtidos experimentalmente com os preditos pelo modelo (Tabela 7), observa-se que estes são relativamente próximos um do outro. O erro

máximo apresentado foi de 25,6% (ensaio 6) e mínimo de 0,5% (ensaio 11), de maneira que o erro médio entre os dados foi de 11,5%.

$$D = 78,69 - 12,72 q_1^2 + 8,84 q_2 - 10,11 q_2^2 \quad (2)$$

Em que: D é a resposta experimental (percentual de remoção da turbidez)

$q_1$  é um parâmetro operacional ajustado (pH)

$q_2$  é um parâmetro operacional ajustado (dosagem de coagulante)

**Tabela 7 - Comparação entre os valores para redução da turbidez experimentais e preditos pelo modelo**

Ensaio	pH	Dosagem de coagulante	Redução da turbidez (%) experimental	Redução da turbidez (%) predita pelo modelo
1	-1,00	-1,00	55,5	47,1
2	-1,00	1,00	62,6	64,7
3	1,00	-1,00	43,7	47,1
4	1,00	1,00	57,9	64,7
5	-1,41	0,00	65,9	53,4
6	1,41	0,00	42,5	53,4
7	0,00	-1,41	42,0	46,1
8	0,00	1,41	76,9	71,1
9	0,00	0,00	68,6	78,7
10	0,00	0,00	88,4	78,7
11	0,00	0,00	79,1	78,7

**Fonte: Autoria própria (2021)**

Para validação do modelo proposto, os parâmetros significativos e as variáveis reais (pH e dosagem do coagulante) foram correlacionados e avaliados pela ANOVA, apresentada na Tabela 8.

Na análise de variância para que o modelo possa ser validado, o valor do  $F_{\text{calculado}}$  deve ser superior ao  $F_{\text{tabelado}}$  (F de Fisher avaliado ao nível de 95% de confiança) para o fator de regressão. Já para verificar que não houve falta de ajuste do modelo, o  $F_{\text{tabelado}}$  deve ser superior ao  $F_{\text{calculado}}$  (F de Fisher avaliado ao nível de 95% de confiança) para o fator de falta de ajuste (VIRGILLITO, 2017). Dessa maneira, o modelo proposto neste trabalho pode ser considerado válido, pois, como observado

na Tabela 8, atende a esses dois requisitos: fator de regressão ( $10,47 > 5,41$ ) e falta de ajuste ( $5,79 > 2,38$ ).

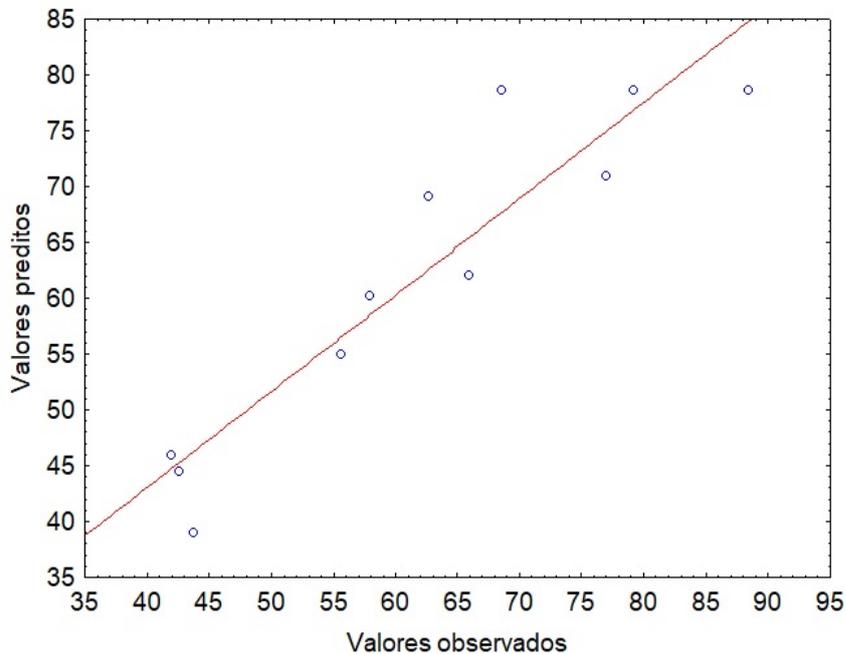
**Tabela 8- ANOVA para o percentual de redução da turbidez após tratamento com coagulante natural**

Fatores	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>	p
Regressão	3	2114,54	704,85	10,47	5,41	0,0135
Falta de ajuste	2	320,37	160,18	2,38	5,79	0,1878
Erro puro	5	336,72	67,34			
Resíduos	7	657,09	93,87			
Total	10	2771,63	277,16			

Fonte: Autoria própria (2021)

A distribuição dos resíduos é apresentada na Figura 3, que demonstra graficamente os valores previstos pelo modelo em relação aos valores observados experimentalmente.

**Figura 4 - Distribuição dos resíduos: valores previstos pelo modelo em relação aos valores experimentais para o percentual de redução da turbidez**



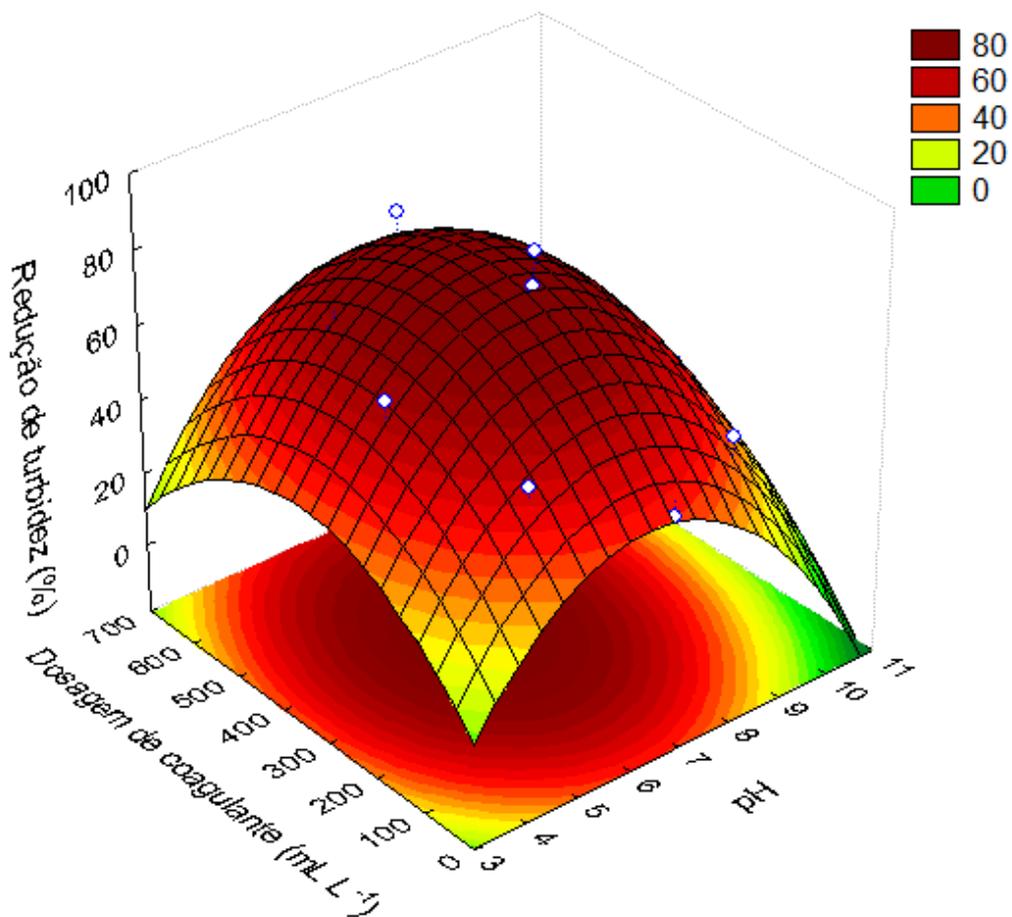
Fonte: Autoria própria (2021)

Como observado a partir da Figura 3, os valores calculados estão distribuídos normalmente – na mesma proporção em relação a reta – demonstrando que o comportamento dos dados não é tendencioso, o que indica que o modelo proposto é um ajuste razoável entre os valores preditos e observados para o percentual de

redução da turbidez do efluente de indústria de pescado após tratamento com coagulante natural.

Para análise da superfície de resposta (Figura 5), considerou-se a porcentagem de redução da turbidez como variável resposta, a curva foi construída a partir dos resultados obtidos do delineamento experimental e indica as condições operacionais que maximizam a porcentagem de redução da turbidez.

**Figura 5 - Superfície de resposta para o percentual de redução da turbidez em função do pH e dosagem de coagulante**



Fonte: Autoria própria (2021)

Avaliando-se a Figura 5, observa-se que as regiões ótimas, que alcançam os melhores percentuais de redução da turbidez, encontram-se no pH de 5 a 8 e na dosagem de coagulante de 200 a 500 mL L<sup>-1</sup>. Ainda, conforme análise da superfície de resposta pode-se apontar o pH 6,6 (pH original do efluente) e dosagem 384 mL L<sup>-1</sup> como ponto em que a remoção da turbidez deve atingir valor máximo (ponto ótimo), indicado pela análise estatística, com redução de turbidez superior a 80%.

#### 5.4 Avaliação da toxicidade

A avaliação da toxicidade do efluente bruto da indústria de pescado (EB), do coagulante (EX, extrato de *Urera baccifera*) e do efluente tratado (ET) por coagulação nos ensaios 2, 7 e SA foi feita através de teste de mortalidade/imobilidade com *Artemia salina*.

O ensaio 2 fornece um parâmetro médio do percentual de remoção da turbidez, considerando que a maior remoção foi medida em um dos pontos centrais do delineamento experimental, não sendo recomendado para análises posteriores. Já o ensaio 7 foi o que apresentou menor valor para sólidos totais, fixos e totais voláteis. O ensaio SA mostrou-se promissor para ambos os parâmetros (percentual de remoção da turbidez e ST) além de dispensar a etapa de ajuste do pH. Por isso, esses foram os pontos escolhidos para terem sua toxicidade avaliada.

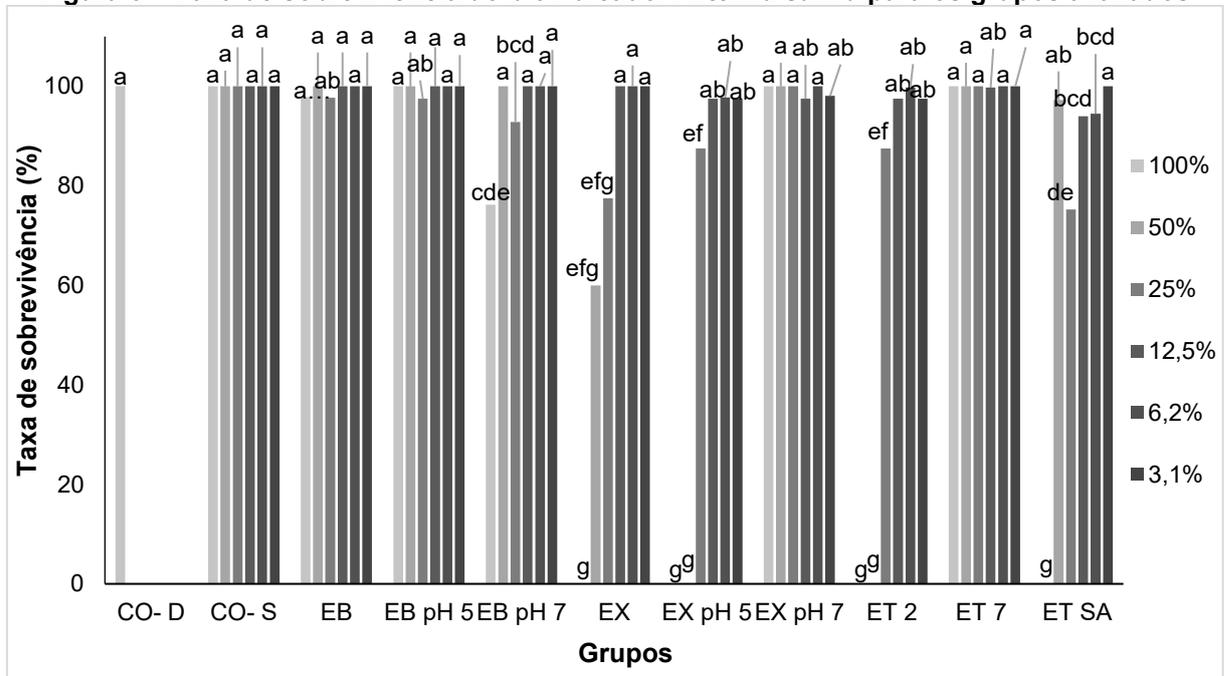
Como o planejamento experimental envolvia a avaliação da coagulação em diferentes faixas de pH e este pode ser um fator que implica na resposta do bioindicador, foi também avaliada a toxicidade do efluente bruto no mesmo valor de pH dos tratamentos: pH original (EB), pH 5 (EB pH 5) e pH 7 (EB pH 7). E a toxicidade do coagulante nos mesmos valores de pH e concentrações dos tratamentos avaliados: pH 5 e concentração de 500 mL L<sup>-1</sup> (EX pH 5), pH 7 e concentração de 17 mL L<sup>-1</sup> (EX pH 7) e pH original e concentração de 250 mL L<sup>-1</sup> (EX).

Os resultados obtidos para o teste de imobilidade/mortalidade com o bioindicador *Artemia salina* são apresentados na Figura 6 e Tabela 9. A partir destes dados, observa-se que o efluente bruto no pH original (6,6) bem como no pH 5 não apresentou toxicidade, por outro lado, o efluente bruto ajustado para o pH 7 foi tóxico nas concentrações de 100 e 25%. Já o extrato em seu pH original (5,2) e concentração de 250 mL L<sup>-1</sup>, bem como no pH 5 e concentração de 500 mL L<sup>-1</sup> foi tóxico para as concentrações maiores que 25%, enquanto o mesmo no pH 7 na concentração de 17 mL L<sup>-1</sup> não foi tóxico para nenhuma concentração avaliada.

Já o efluente tratado no ensaio 2 (pH 5 e 500 mL L<sup>-1</sup>) foi tóxico nas maiores concentrações avaliadas pelo bioindicador (100, 50 e 25%), também, o ensaio SA, em que o efluente foi tratado sem ajuste de pH com concentração do coagulante de 250 mL L<sup>-1</sup> apresentou toxicidade nas concentrações de 100, 25, 12,5 e 6,2% avaliadas

pele bioindicador. Por outro lado, o ensaio 7 (pH 7 e 17 mL L<sup>-1</sup>) não apresentou toxicidade.

**Figura 6 - Taxa de sobrevivência do bioindicador *Artemia salina* para os grupos avaliados**



CO- D – controle negativo doce; CO- S – controle negativo salgado; EB – efluente bruto; EX – extrato; ET – efluente tratado; SA – sem ajuste de pH.

Fonte: Autoria própria (2021)

**Tabela 9 - Número médio e desvio padrão dos organismos *Artemia salina* vivos para os grupos avaliados**

(continua)

Grupos	Concentrações	Média ± DP
Controle doce	100	100±0
	100	100±0
	50	100±0
	25	100±0
	12,5	100±0
	6,2	100±0
	3,1	100±0
Efluente bruto	100	97,86±0,96
	50	100±1,26
	25	97,73±1,26
	12,5	100±0,58
	6,2	100±0,96
	3,1	100±0,96

**Tabela 9 - Número médio e desvio padrão dos organismos *Artemia salina* vivos para os grupos avaliados**

(continua)

Grupos	Concentrações	Média ± DP
Efluente bruto em pH 5	100	100±0
	50	100±0
	25	97,50±0,50
	12,5	100±0
	6,2	100±0
	3,1	100±0
Efluente bruto em pH 7	100	76,19±2,58
	50	100±0,50
	25	92,86±1,26
	12,5	100±0,58
	6,2	100±1,00
	3,1	100±0,50
Extrato	100	0±0
	50	60±0,82
	25	62,5±0,96
	12,5	85±1,29
	6,2	100±0
	3,1	100±0
Extrato em pH 5	100	0±0
	50	0±0
	25	80±2,45
	12,5	100±0
	6,2	97,5±0,5
	3,1	95,1±0,5
Extrato em pH 7	100	0±0
	50	30±1,41
	25	87,5±1,26
	12,5	100±0
	6,2	100±0
	3,1	100±0
Efluente tratado ensaio 2	100	0±0
	50	0±0
	25	10±2,83
	12,5	93,02±0,82
	6,2	85±1,73
	3,1	95±0,58

**Tabela 9 - Número médio e desvio padrão dos organismos *Artemia salina* vivos para os grupos avaliados**

(conclusão)

Grupos	Concentrações	Média ± DP
Efluente tratado ensaio 7	100	100±0,58
	50	100±0,5
	25	100±0
	12,5	97,44±0,58
	6,2	100±0,5
	3,1	97,87±1,00
Efluente tratado ensaio SA	100	0±0,5
	50	97,44±1,00
	25	77,50±1,50
	12,5	93,48±1,50
	6,2	94,12±2,45
	3,1	100±1,00

Fonte: Autoria própria (2021)

A avaliação da toxicidade do efluente bruto advindo de uma indústria de pescados feita com a bactéria *Vibrio fischeri* apresentou fator de toxicidade 8, valor máximo permitido pela legislação (PARANÁ, 2009) e a amostra tratada com coagulante natural (Tanfloc SH) apresentaram redução deste fator para 4 (CAMPOS, 2020). A vinhaça, resíduo líquido produzido no processamento de álcool, também tratada com coagulante natural tanino (Tanfloc SG) apresentou redução de toxicidade avaliada pelo teste de mortalidade com *Artemia salina* após o tratamento, apesar da redução ainda apresentava taxas de mortalidade de 100% nas concentrações de 20, 10 e 7% (GIRARDI, 2009). A redução de toxicidade associada ao coagulante natural tanino comercial (Tanfloc) pode ser resultado de seus processos de purificação, não apresentando substâncias e metabólitos residuais, diferente do coagulante utilizado neste trabalho, pois, após a obtenção do extrato das raízes de *Urera baccifera* este não passou por nenhum procedimento de purificação.

Assim, pode-se assumir que a toxicidade encontrada no efluente tratado nos pontos 2 e SA pode ser derivada do extrato, uma vez que, avaliados individualmente sob as mesmas condições, somente o extrato apresentou esta mesma toxicidade. Da mesma maneira, pode-se afirmar que o ensaio 7 foi o melhor tratamento para o efluente, em termos de toxicidade.

Ainda, a baixa presença de toxicidade no efluente bruto, somente no pH 7 nas concentrações de 100 e 25%, deve ser reflexo de seus baixos parâmetros de turbidez, sólidos e DQO. Da mesma maneira, a alta presença de toxicidade na avaliação do coagulante (EX, EX pH 5), o extrato das raízes de *Ureia baccifera*, pode ser resultado de sua alta concentração de matéria orgânica, como avaliado pelo seu expressivo valor de DQO, que em um sistema aquático pode causar eutrofização. Contudo, em baixas concentrações (EX pH 7), não apresenta efeito tóxico e ainda assim apresenta efetividade como coagulante natural.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O efluente líquido obtido na indústria de pescado não apresentou valores elevados para os parâmetros de pH e sólidos, necessitando de tratamento para redução da turbidez e DQO. Por outro lado, o extrato das raízes de *Urera baccifera*, utilizado como coagulante, apresentou valores elevados de sólidos e DQO, não apresentando turbidez.

A partir dos resultados obtidos verificou-se que o extrato é um coagulante efetivo para redução da turbidez, apresentando remoções de 42 a 88%, atuando em uma ampla faixa de pH (5 ao 9) e dosagem de coagulante (17 a 583 mL L<sup>-1</sup>), apresentando os melhores resultados em pH neutro (pH 6 e 7) e dosagem de coagulante de 200 a 300 mL L<sup>-1</sup>. De acordo com a avaliação estatística, o tratamento apresenta uma dependência linear com o pH e linear e quadrática com a dosagem de coagulante aplicada.

Devido as próprias características do coagulante, com elevada DQO e sólidos, este mostrou-se tóxico em altas concentrações frente ao bioindicador *Artemia salina*. Contudo, em baixas concentrações (17 mL L<sup>-1</sup>) e em pH neutro (pH 7) não apresentou toxicidade e reduziu a turbidez em 42%, uma resposta muito promissora.

Dessa maneira, o coagulante proposto pode ser utilizado como tratamento primário na indústria de pescados para remoção de turbidez, em baixas concentrações na substituição de coagulantes químicos. Apesar de o tratamento elevar a matéria orgânica do efluente, esta pode ser facilmente biodegradada no tratamento secundário com microrganismos, sem contar com a presença de outros contaminantes, como resíduos metálicos advindos do uso de coagulantes químicos.

Para trabalhos futuros, aponta-se a investigação deste coagulante frente a outros efluentes industriais. Indica-se também o isolamento dos compostos presentes no extrato para investigação do tanino presente na raiz da planta como coagulante, pois assim, deve apresentar menor concentração de matéria orgânica e dessa maneira reduzir outros parâmetros além da turbidez.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). **Água na indústria: uso e coeficientes técnicos**. Brasília: ANA, 2017.
- ALMEIDA, T. D.; MAI, B. F.; PUGET, F. P. Extração de tanino condensado da casca do café conilon e uso deste como coagulante para remoção da turbidez da água. **Enciclopédia Biosfera**, p. 1649-1656, v. 13, n. 23, 2016.
- ALVES, V. M. et al. Extração de taninos de farinha de semente de graviola por ultrassom. **Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 6, p. 54-59, 2019.
- AMBRÓSIO, J. H. F.; NAVAL, L. P.; LUIZ, D. B. Possibilidade de reuso/reciclo direto ou indireto de efluentes gerados em entreposto de pescado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28., 2015, Rio de Janeiro. Alterações climáticas e a gestão do saneamento ambiental. Rio de Janeiro: ABES, 2015.
- APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION), AWWA (AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION) AND WEF (WATER ENVIRONMENT FEDERATION). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20 ed. Washington: American Public Health Association, 1998.
- AUBOURG, S. P. Fish: processing. **Encyclopedia of Food and Health**, p. 710-715, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-384947-2.00290-7>.
- BALBINOT, E. **Eletrocoagulação no tratamento de efluentes de filetagem de pescado**. 2015. 172 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/158901>>. Acesso em: 23 mar. 2021.
- BENVENTUTTI, R. C. et al. Gastroprotective activity of hydroalcoholic extract of the leaves of *Urera baccifera* in rodents. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 250, p. 112473, 2020.
- BITTENCOURT, C.; PAULA, M. A. S. **Tratamento de água e efluentes: fundamentos de saneamento ambiental e gestão de recursos hídricos**. 1 ed. São Paulo: Érica, 2014.
- BONGIOVANI, M. C. et al. Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para a obtenção de água potável. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 167-170, 2010.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõem sobre a classificação dos corpos de água. **Diário Oficial da União**, 2005.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõem sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes. **Diário Oficial da União**, 2011.

BRAZ, S. N.; LONGO, R. M. Qualidade ambiental das cidades: uso de bioindicadores para avaliação da poluição atmosférica. **Sustentabilidade: Diálogos Interdisciplinares**, v. 2, p. 1-21, 2021.

CAMPOS, E. G. P. **Tratamento de efluente de processamento de peixe utilizando coagulação/sedimentação e flotação**. 2020. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2016.

CIKOSKI, A. et al. Caracterização de efluentes gerados no processo agroindustrial – caso da indústria frigorífica. **Geoambiente On-line**, n. 11, p. 1-11, 2013. <https://revistas.ufg.br/index.php/geoambiente/article/view/25967>

DALLA PORTA, M. G. **Avaliação da eletrocoagulação no tratamento de efluentes líquidos na indústria de processamento de pescado**. 2016. 126 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/171694>>. Acesso em: 29 mar. 2021.

DAVIS, M. **Tratamento de águas para abastecimento e residuárias: princípios e práticas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

DAYARATHNE, H. N. P. et al. Removal of natural organic matter from source water: Review on coagulants, dual coagulation, alternative coagulants, and mechanisms. **Journal of Water Process Engineering**, [S.L.], v. 40, p. 101820, abr. 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101820>.

DUARTE, J. G. **Hidrólise enzimática e digestão anaeróbia termofílica de efluente de indústria de pescado**. 2013. 102 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Departamento de Engenharia Bioquímica, Rio de Janeiro, 2013.

EATON, A. D. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed. [s. l.]: American Public Health Association, 2012.

FABBI, L. M. et al. Monitoramento de efluentes em agroindústrias de Chapecó, Santa Catarina. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 1, n. 2, p. 67-82, 2007.

FAO. **The state of world fisheries and aquaculture**: contributing to food security and nutrition for all. Rome, 2016.

FAO. **The state of world fisheries and aquaculture 2018**: meeting the sustainable development goals. Rome, 2018.

FAO. **The state of world fisheries and aquaculture 2020**: sustainability in action. Rome, 2020. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>

FERREIRA FILHO, S. S. **Tratamento de água**: concepção, projeto e operação de estações de tratamento. Rio de Janeiro: ELSEVIER, 2017.

GAGLIOTI, A. L.; SUCHORONZCEK, A. *Urera in: Flora do Brasil*, 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB15076>>. Acesso em: 04 nov. 2021.

GARCEZ, B. B. D. et al. Toxicidade aguda da dipirona sódica in vitro utilizando o bioindicador de toxicidade *Artemia salina* Leach. **Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**, v. 11, n. 2, p. 114-119, 2018.

GINDRI, A.L. et al. Análise fitoquímica das cascas e do miolo da raiz de *Urera baccifera* (L.) gaudich (urticaceae). **Saúde (Santa Maria)**, v. 36, n. 2, p. 63-70, 2010.

GINDRI, A. L.; SOUZA, L. B.; ATHAYDE, M. L. Caracterização botânica da urtiga-brava: estudos farmacológicos e químicos. **Disciplinarum Scientia**, v. 14, n. 1, p. 125-136, 2013.

GIRARDI, F. **Tratamento de vinhaça utilizando coagulantes naturais**. 2009. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

HENDGES, L. T. et al. Avaliação preliminar do processo de coagulação aplicado em águas de abastecimento público. *In: Conhecimento em rede*: desenvolvimento, cooperação e integração regional em território de fronteira. Rede CIDIR: 10 anos, 2019. p. 194-207.

IBRAHIN, F. I.; IBRAHIN, F. J.; CANTUÁRIA, E. R. **Análise ambiental**: gerenciamento de resíduos e tratamento de efluentes. São Paulo: Érica, 2015

IDEIA, P. et al. Fish processing industry residues: a review of valuable products extraction and characterization methods. **Waste and Biomass Valorization**, v. 11, n. 7, p. 3223-3246, 2019. <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-019-00739-1>.

KUBITZA, F.; CAMPOS, J. L. O aproveitamento dos subprodutos do processamento de pescado. **Panorama da Aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 94, p. 23-29, 2006.

LUCAS, A. P. C.; KOETZ, P.R.; PRZYBYLSKI, S. L. A. Tratamento anaeróbio de efluentes do processamento de corvina (*Micropogonias furnieri*) em reator UASB. **Vetor**, v. 10, n. 9, p. 113-124, 2000.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. Porto Alegre: AMGH, 2016.

MENDIVIL, C. O. Dietary fish, fish nutrients, and immune function: a review. **Frontiers in Nutrition**, v. 7, n. 1, p. 1-9, 2021. <http://dx.doi.org/10.3389/fnut.2020.617652>.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na indústria: uso racional e reuso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MURAKAMI, K. T. T. **Avaliação do consumo de água e da geração de efluentes em uma indústria de processamento de tilápias**. 2018. 126 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araçatuba, 2018.

NUNES, B. S. et al. Use of the genus *Artemia* in ecotoxicity testing. **Environmental Pollution**, v. 144, p. 453-462, 2006.

PANSERA, M. R. et al. Análise de taninos totais em plantas aromáticas e medicinais cultivadas no Nordeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 13, n. 1, p. 17-22, 2003.

PARANÁ. CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 70 de 11 de agosto de 2009. Dispõem sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios e da outras providencias para empreendimentos industriais. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, 2009.

PEIXE BR. Associação Brasileira de Piscicultura. **Anuário da Piscicultura 2020**. São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://www.peixebr.com.br/anuario-2020/>>. Acesso em: 31 mar. 2021.

RADZUAN, R. M. et al. Application of natural coagulants for wastewater treatment. In: MOHAMED, R.M.S.R.; AL-GHEETHI, A.A.S.; OTHMAN, N. **Integrated Water Resources Protection**. [S.L.]: Penerbit UTHM, 2017. p. 62-64.

RUBINGER, C. F. **Seleção de métodos biológicos para a avaliação toxicológica de efluentes industriais**. 2009. 89 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/ENGD-7Y7MNH>>. Acesso em: 18 mar. 2021.

SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; BELTRÁN-HEREDIA, J.; PERES, J. A. Improvement of the flocculation process in water treatment by using *Moringa oleifera* seeds extract. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, São Paulo, v. 29, n. 3, p. 495-501, 2012.

SANTIAGO, M. C. P. A. et al. Análise e caracterização de taninos condensados por cromatografia líquida. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 61446-61462, 2020.

SANTOS, J. M. B. et al. Análise da variação temporal de cor, turbidez e sólidos no ribeirão Espírito Santo e avaliação crítica de equações de correlação entre sólidos e turbidez. In: Congresso Internacional RESAG, 3., 2017, Belo Horizonte. **Anais eletrônicos**. Disponível em: <<http://www.resag.org.br/congressoresag2017/anais/trabalhos/aprovado>>. Acesso em: 04 nov. 2021.

SCHIMITT, D. M. F. **Tratamento de águas residuárias de laticínios pelos processos combinados de coagulação/floculação/adsorção/ultrafiltração utilizando a semente de *Moringa oleifera* como coagulante**. 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2011.

SCHONINGER, F. C. C. **Diagnostico da qualidade da água e do sedimento do rio Chopim no entorno do Refúgio de Vida Silvestre dos Campos de Palmas - PR**. 2020. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2020.

SCHWIRKOWSKI, P. Projeto Flora de São Bento do Sul - SC. 2009. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/florasbs/>>. Acesso em: 04 abr. 2021.

SILVA, J. G. S.; JUNIOR, R. S. M.; LOBATO, A. K. C. L. Coagulantes naturais utilizados no tratamento de efluentes em indústrias têxteis. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 13, n. 5, p. 1450-1463, 2020.

SITARAM, D. U. New technologies in fish processing and fishery products: a review. **World Journal Of Advanced Research And Reviews**, v. 9, n. 2, p. 141-143, 2021. <http://dx.doi.org/10.30574/wjarr.2021.9.2.0038>.

SKORONSKI, E. et al. Estudo de aplicação de tanino no tratamento de água para abastecimento captada no rio Tubarão, na cidade de Tubarão, SC. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 9, n. 4, 2014.

SOUZA, R. V. **Avaliação ecotoxicológica de solo do aterro sanitário de Goiânia**. 2017. 51 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

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**, 2021. Tratamento de água. Disponível em: <<https://www.tanac.com.br/produto/tratamento-de-agua/>>. Acesso em 01, novembro, 2021.

TENÓRIO, M. A. R. **Avaliação dos processos oxidativos avançados como tratamento terciário de efluente líquido de uma indústria de pescado**. 2016. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/171694>>. Acesso em 29 mar. 2021.

VALENTE, A. M. et al. Pré-hidrólise enzimática da gordura de efluente na indústria de pescado objetivando o aumento da produção de metano. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 2, p. 483-488, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20612010000200028>.

VIRGILLITO, S. B. **Estatística aplicada**. São Paulo: Saraiva, 2017.