



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE – UERN**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS – FANAT**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS NATURAIS – PPGCN**  
**MESTRADO EM CIÊNCIAS NATURAIS – MCN**

**DANNIEL TARGINO MARTINS**

**APLICAÇÃO DO TANFLOC SG NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE UMA  
UNIDADE INDUSTRIAL DE PRODUÇÃO DE CONDIMENTOS**

**MOSSORÓ-RN**

**2020**

DANNIEL TARGINO MARTINS

APLICAÇÃO DO TANFLOC SG NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE UMA UNIDADE  
INDUSTRIAL DE PRODUÇÃO DE CONDIMENTOS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências Naturais.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Janete Jane Fernandes Alves

MOSSORÓ-RN

2020

© Todos os direitos estão reservados a Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do(a) autor(a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu(a) respectivo(a) autor(a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

**Catálogo da Publicação na Fonte.**  
**Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.**

M386a MARTINS, DANNIEL TARGINO  
APLICAÇÃO DO TANFLOC SG NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE UMA UNIDADE INDUSTRIAL DE PRODUÇÃO DE CONDIMENTOS. / DANNIEL TARGINO MARTINS. - UERN - Campus Central, 2020.  
81p.

Orientador(a): Profa. Dra. Janete Jane Fernandes Alves.

Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais). Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.

1. Coagulação. 2. Floculação. 3. Tanfloc SG. 4. Cor aparente. 5. Turbidez. I. Alves, Janete Jane Fernandes. II. Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pela Diretoria de Informatização (DINF), sob orientação dos bibliotecários do SIB-UERN, para ser adaptado às necessidades da comunidade acadêmica UERN.

DANNIEL TARGINO MARTINS

APLICAÇÃO DO TANFLOC SG NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE UMA UNIDADE  
INDUSTRIAL DE PRODUÇÃO DE CONDIMENTOS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, da Faculdade de Ciências Naturais e Exatas da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Naturais.

Aprovado em: 04/05/2020.

BANCA EXAMINADORA



Prof.ª Dr.ª Janete Jane Fernandes Alves  
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN



Prof. Dr. Keurison Figueredo Magalhães  
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN



Prof. Dr. Jardel Dantas da Cunha  
Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA

## Termo de Autorização para disponibilização de publicação eletrônica na Biblioteca Digital da UERN

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo ao SIB-UERN a disponibilizar através da Biblioteca Digital da UERN, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o texto integral da obra abaixo citada, conforme permissões assinaladas, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data 04/05/2020.

### 1. Identificação da Publicação Eletrônica:

Nome do Curso: CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS NATURAIS

Autor: DANNIEL TARGINO MARTINS

Matrícula: 418002 e-mail: daniel.targino@ifrn.edu.br

Orientador: Janete Jane Fernandes Alves

Co-orientador: -----

Membro da banca: Keurison Figueredo Magalhães

Membro da banca: Jardel Dantas da Cunha

Data de Apresentação: 04/05/2020

Titulação: Mestre em Ciências Naturais

Título da Publicação Eletrônica: APLICAÇÃO DO TANFLOC SG NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE UMA UNIDADE INDUSTRIAL DE PRODUÇÃO DE CONDIMENTOS

Palavras-chave: coagulação, floculação, Tanfloc SG, cor aparente, turbidez.

Instituição de Defesa: Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

Agência de fomento: CAPES ( ) CNPQ ( ) ANP ( ) ( ) Outra: \_\_\_\_\_

### 2. Informação de acesso ao documento: Liberação para publicação: (X) Total ( ) Parcial

Em caso de publicação parcial, especifique a(s) parte(s) do(s) arquivo(s) restrito(s). Especifique:

\_\_\_\_\_

*Daniel Targino Martins*

Assinatura do autor



04/05/2020  
Data

Assinatura do Orientador

04/05/2020  
Data

Minha eterna gratidão a minha família, meus amigos e companheiros de caminhada, através dos quais Deus me abençoou além do que eu sempre imaginei.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a meus pais, com quem tenho uma dívida eterna de gratidão, pelo que fizeram e fazem por mim até hoje. Meu sentimento é de alegria em dizer que por vocês eu dou a minha vida sem sequer pensar.

Meu coração também é imensamente grato por todo companheirismo da minha princesa Laisse, que é meu presente e meu futuro, e sempre soma à minha vida, em todas as áreas e em todos os momentos. Meu porto seguro, amo vc.

Também destaco minha gratidão absolutamente DESPROPORCIONAL nesse processo todo a minha orientadora, professora Jane, e à professora Suely, que não só me ajudaram de forma espetacular como muito me ensinaram, sobretudo através do exemplo. Carregarei essa amizade e consideração comigo sempre, e farei com outros o que fizeram por mim. Nesse mesmo clima, estendo meus agradecimentos a todos os colegas que compõem o Laboratório de Eletroquímica e Química Analítica, com quem tive uma convivência amigável e cheia de contribuições: Ruilianne, Mateus, Wesley, Laísa, à professora Danyelle, e em especial a Rossine, que foi meu braço direito e se tornou um parceiro fera no trabalho e grande amigo.

Expresso minha gratidão de igual maneira aos professores Jardel e Keurison, que foram solícitos em contribuir participando da banca de avaliação deste trabalho e agregando bastante valor em forma de aprendizado.

Agradeço ao IFRN pela liberação parcial da minha carga-horária, imprescindível para que eu tivesse condições de alcançar até os mínimos resultados ao longo dos últimos dois anos. Em especial expresso meus agradecimentos a minha super chefe e grande amiga Cléia Macêdo, que me deu ali o aval inicial e apoio incondicional sempre que precisei.

Direciono meus agradecimentos ainda à empresa TANAC S. A., a qual gentilmente respondeu à solicitação feita por mim e se prontificou de forma espontânea a fazer a doação do tanino que foi utilizado dentro dos estudos desenvolvidos neste trabalho, bem como à Tempero Regina, que prestou um suporte excelente abrindo as portas de suas instalações e cedendo o efluente utilizado como objeto deste pesquisa.

Não posso deixar de mencionar meu amigo e colega de trabalho Alcivan Neto, o qual, como sempre, me deixou uma contribuição ímpar com tantas ideias e discussões. Conte comigo sempre.

Por fim, encerro agradecendo à Universidade do Estado do Rio Grande do Norte enquanto instituição, a qual merece todo o respeito e reverência não só meu como de toda a sociedade. É minha satisfação poder honrar o trabalho daqueles que fazem as coisas acontecer naquele lugar.

“Errei mais de 9000 lances em minha carreira e perdi quase 300 jogos. Em 26 finais de partida me confiaram o lance decisivo do jogo... e eu falhei. Eu tenho uma história repleta de falhas e fracassos em minha vida. E é exatamente por isso que eu sou um sucesso.”

(Michael Jordan)

## RESUMO

Segundo a ONU (Organização das Nações Unidas), 1,1 bilhão de pessoas em todo o mundo não tem acesso a água potável. Nos países em desenvolvimento, 80% das mortes e enfermidades estão associadas a problemas com a água. No Brasil, em se tratando da indústria de fabricação de condimentos, além do alto volume de água consumido como parte dos insumos, sua taxa de aproveitamento é de somente de 20%, o que faz com que 80% se torne rejeito. Largamente empregado em diversos segmentos da indústria, bem como em sistemas de abastecimento urbano, o processo de coagulação e floculação surge como uma alternativa interessante diante da necessidade de uma técnica eficaz e de fácil execução sobretudo na remoção de cor, turbidez, dureza e coliformes. Considerando que os coagulantes à base de alumínio, os quais ainda hoje são os mais usados em todo o mundo, apresentam efeitos prejudiciais à saúde humana, além de outros aspectos negativos, os polímeros naturais como os taninos apresentam-se como alternativa viável capaz de substituí-los. Nesse sentido, nesta pesquisa foi estudada a aplicação do coagulante Tanfloc SG no tratamento do efluente gerado numa unidade industrial de produção de temperos, molhos e fermentados acéticos com comercialização diária de toneladas em produtos e geração semanal de mais de 7 m<sup>3</sup> em efluentes. Os experimentos foram realizados com amostras coletadas em duas ocasiões distintas, tendo como objetivo principal avaliar a eficiência do tanino na remoção de cor e turbidez. Foi analisada a influência de um conjunto de parâmetros de controle: pH, concentração de agente coagulante, tempo de agitação rápida, tempo de agitação lenta, e tempo de sedimentação dos flocos formados. Os resultados que reportaram as melhores condições para o processo foram obtidas quando se trabalhou com um pH de 6,00, a uma dosagem de Tanfloc SG de 300 mg L<sup>-1</sup>, com agitação rápida a 120 rpm por 3 min, agitação lenta a 45 rpm por 10 min, e 30 min para sedimentação dos flocos. Ao final do estudo, foi visto que o Tanfloc SG funcionou como um eficiente coagulante e floculante, promovendo a remoção de cor aparente de 91,3% no tratamento da primeira amostra de efluente, e de 49,5% da segunda. Em termos de turbidez, a redução na primeira e na segunda amostras foi de 96,1% e 92,4%, respectivamente.

**Palavras-chave:** Coagulação, floculação, Tanfloc SG, cor aparente, turbidez.

## ABSTRACT

According to the UN (United Nations), 1.1 billion people worldwide do not have access to drinking water. In developing countries, 80% of deaths and illnesses are associated with problems with water. In Brazil, in the case of the condiment manufacturing industry, in addition to the high volume of water consumed as raw material, its utilization rate is only 20%, which makes 80% become reject. Widely used in various industry segments, as well as in urban supply systems, the coagulation and flocculation process is an interesting alternative in view of the need for an effective and easy-to-execute technique, especially in the removal of color, turbidity, hardness and coliforms. Considering that coagulants made of aluminum, which are still the most used worldwide today, have harmful effects on human health, in addition to other negative aspects, natural polymers such as tannins are a viable alternative capable of replacing them. For this reason, in this research the application of the coagulant Tanfloc SG was studied in the treatment of the effluent generated in an industrial unit for the production of spices, sauces and fermented acetic acid with daily commercialization of tons of products and weekly generation of more than 7 m<sup>3</sup> in effluents. The experiments were carried out with samples collected on two different occasions, with the main objective of evaluating the efficiency of the tannin in removing color and turbidity. The influence of a set of control parameters was analyzed: pH, concentration of coagulant, time of rapid mix, time of slow mix, and settling time of the flakes formed. The results that reported the best conditions for the process were obtained working with a pH of 6.00, at a dosage of Tanfloc SG of 300 mg L<sup>-1</sup>, with rapid mix at 120 rpm for 3 min, slow mix at 45 rpm for 10 min, and 30 min for settling of the flakes. At the end of the study, it was seen that Tanfloc SG worked as an efficient coagulant and flocculant, promoting the removal of apparent color of 91.3% in the treatment of the first sample of effluent, and 49.5% of the second. As for turbidity, the reduction in the first and second samples was 96.1% and 92.4%, respectively.

**Keywords:** Coagulation, flocculation, Tanfloc SG, apparent color, turbidity.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01:</b> Espectros de absorção produzidos durante o estudo de Boscolo et al., 2002, com destaque para o caramelo.....	25
<b>Figura 02:</b> Cargas primárias de um colóide hidrofílico em função do pH.....	33
<b>Figura 03:</b> Representação da ruptura da estrutura da dupla camada elétrica, segundo o Modelo de Stern: (a) inversão da carga devido à adsorção específica de contra-íons (em geral surfactantes ou polivalentes); (b) adsorção de co-íons surfactantes.....	34
<b>Figura 04:</b> Estruturas químicas de tanino hidrolisável (a) e condensado (b). ....	39
<b>Figura 05:</b> Principais monômeros da Acacia Mearnsii. ....	39
<b>Figura 06:</b> Mecanismo de obtenção do polímero orgânico catiônico pela reação de Mannich. ..	40
<b>Figura 07:</b> Estrutura polimérica do Tanfloc SG.....	40
<b>Figura 08:</b> Espectros de absorção para taninos de Acacia Mearnsii. ....	41
<b>Figura 09:</b> Ponto de coleta nos diques de contenção de efluente da planta. ....	44
<b>Figura 10:</b> Jar Test utilizado nos ensaios de coagulação/floculação.....	45
<b>Figura 11:</b> Fluxograma das etapas dos procedimentos experimentais. ....	47
<b>Figura 12:</b> Espectros de absorção do Tanfloc SG nas concentrações de 100, 200 e 300 mg L <sup>-1</sup> . 54	
<b>Figura 13:</b> Registro visual do sistema de jar test ao término do Experimento 01 (pH: 3,5 – 6,0). .....	55
<b>Figura 14:</b> Espectros de absorção das amostras coletadas no Experimento 01 em relação ao Efluente Bruto 01, dentro da faixa de pH 3,5 – 6,0.....	55
<b>Figura 15:</b> Registro visual do sistema de jar test ao término do Experimento 01 (pH: 6,5 – 9,0). .....	57
<b>Figura 16:</b> Espectros de absorção das amostras coletadas no Experimento 01 em relação ao Efluente Bruto 01, dentro da faixa de pH 6,5 – 9,0.....	57
<b>Figura 17:</b> Absorbância no comprimento de onda de 270 nm para cada condição de pH. ....	58
<b>Figura 18:</b> Registro visual do sistema de jar test ao término do Experimento 02 (concentração do coagulante: 100 – 600 mg L <sup>-1</sup> ).....	60
<b>Figura 19:</b> Espectros de absorção das amostras coletadas no Experimento 02 em relação ao Efluente Bruto 01 (concentração de coagulante: 100 – 600 mg L <sup>-1</sup> ).....	60

<b>Figura 20:</b> Registro visual do sistema de jar test ao término do Experimento 03 (concentração do coagulante: 300 – 550 mg L <sup>-1</sup> ).....	61
<b>Figura 21:</b> Espectros de absorção das amostras coletadas no Experimento 03 em relação ao Efluente Bruto 01 (concentração de coagulante: 300 – 550 mg L <sup>-1</sup> ).....	62
<b>Figura 22:</b> Espectros de absorção das amostras de efluente tratado coletadas ao se adotar o tempo de agitação rápida em 3 e 6 min, em relação ao Efluente Bruto 01. ....	63
<b>Figura 23:</b> Espectros de absorção relativos às amostras de efluente tratado nas diferentes condições de tempo de agitação lenta, em relação ao Efluente Bruto 01.....	64
<b>Figura 24:</b> Espectro de absorção da amostra do Efluente 01 pós-tratamento, em condições ótimas, em relação ao bruto.....	65
<b>Figura 25:</b> Registro visual da amostra de clarificado ao término do teste executado em condições ótimas com o Efluente Bruto 01. ....	65
<b>Figura 26:</b> Espectros de absorção obtidos no tratamento do Efluente Bruto 02 em pH 6,0 (concentração do coagulante: 200 – 600 mg L <sup>-1</sup> ). ....	66
<b>Figura 27:</b> Espectros de absorção obtidos no tratamento do Efluente Bruto 02 em pH 7,0 (concentração do coagulante: 200 – 600 mg L <sup>-1</sup> ). ....	67
<b>Figura 28:</b> Ficha comercial do Tanfloc SG. ....	81

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01:</b> Faixa operacional atribuída a cada parâmetro de controle do processo durante o estudo do Efluente 01.....	47
<b>Tabela 02:</b> Faixa operacional atribuída a cada parâmetro de controle do processo durante o estudo do Efluente 02.....	48
<b>Tabela 03:</b> Valores adotados para os parâmetros estudados Experimento 01.....	48
<b>Tabela 04:</b> Valores adotados para o parâmetro estudado no Experimento 02. ....	49
<b>Tabela 05:</b> Valores adotados para o parâmetro estudado no Experimento 03. ....	49
<b>Tabela 06:</b> Valores adotados para os parâmetros estudados nos Experimentos 08 e 09.....	50
<b>Tabela 07:</b> Propriedades físico-químicas dos Efluentes Brutos 01 e 02. ....	53
<b>Tabela 08:</b> Propriedades físico-químicas do Efluente 01 na condição inicial (bruto) e pós-tratamento. ....	68
<b>Tabela 09:</b> Propriedades físico-químicas do Efluente 02 na condição inicial (bruto) e pós-tratamento. ....	68

## LISTA DE NOMENCLATURAS

ANA:	Agência Nacional de Águas
DBO:	Demanda bioquímica de oxigênio
DCE	Dupla camada elétrica
DQO:	Demanda química de oxigênio
EUA:	Estados Unidos da América
EPM:	Mobilidade eletroforética
FDA:	Food and Drug Administration
GRAS:	Generally recognized as safe
HMF:	5-hydroxymethylfurfural
IEP:	Ponto isoelétrico
mg L <sup>-1</sup> :	Miligrama por litro
min	Minuto
mS/cm:	MiliSiemens por centímetro
nm:	Nanômetro
pH:	Potencial hidrogeniônico
ppm:	Partes por milhão
rpm:	Rotação por minuto
uC	Unidade de cor
UNT	Unidade nefelométrica de turbidez
UV:	Ultravioleta
%:	Porcentagem

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>10</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>18</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>21</b>
<b>2.1. A Produção Industrial de Condimentos</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2. Corante Caramelo</b> .....	<b>22</b>
<b>2.3. Coagulação</b> .....	<b>25</b>
<b>2.4. Floculação</b> .....	<b>28</b>
<b>2.5. O Alumínio</b> .....	<b>29</b>
<b>2.6. Principais Parâmetros de Influência na Coagulação e Floculação</b> .....	<b>31</b>
<b>2.6.1. Temperatura</b> .....	<b>31</b>
<b>2.6.2. pH</b> .....	<b>32</b>
<b>2.6.3. Condições de Agitação</b> .....	<b>35</b>
<b>2.7. A Natureza dos Taninos e sua Aplicação como Agentes Coagulantes</b> .....	<b>37</b>
<b>2.8. Aspectos Legais Envolvendo a Remoção de Cor e Turbidez de Efluentes</b> .....	<b>42</b>
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>43</b>
<b>3.1. Geral</b> .....	<b>43</b>
<b>3.2. Específicos</b> .....	<b>43</b>
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	<b>43</b>
<b>4.1. Coleta do Efluente</b> .....	<b>43</b>
<b>4.2. Ensaio de Clarificação</b> .....	<b>45</b>
<b>4.3. Etapas dos Procedimentos Experimentais</b> .....	<b>46</b>
<b>4.3.1. Etapa 01 – Otimização do pH e do Tempo de Sedimentação dos Flocos (Efluente Bruto 01)</b> .....	<b>48</b>
<b>4.3.2. Etapa 02 – Otimização da Concentração de Coagulante (Efluente Bruto 01)</b> <b>49</b>	
<b>4.3.3. Etapa 03 – Otimização das Condições de Agitação (Efluente Bruto 01)</b> .....	<b>49</b>
<b>4.3.4. Etapa 04 – Aplicação do Tanfloc SG no Tratamento do Efluente Bruto 02</b> ....	<b>50</b>
<b>4.4. Metodologia Analítica</b> .....	<b>50</b>
<b>4.4.1. pH</b> .....	<b>51</b>

4.4.2.	Espectroscopia UV-Visível.....	51
4.4.3.	Turbidez .....	51
4.4.4.	Cor Aparente .....	51
4.4.5.	Condutividade.....	52
4.4.6.	Cloreto .....	52
4.4.7.	Nitrato.....	52
4.4.8.	Nitrito.....	52
4.4.9.	Demanda Química de Oxigênio.....	52
4.4.10.	Demanda Bioquímica de Oxigênio .....	53
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
5.1.	Caracterização dos Efluentes Brutos .....	53
5.2.	Espectros de Absorção do Tanfloc SG .....	53
5.3.	Determinação das Condições Ótimas do Processo de Tratamento .....	54
5.3.1.	Influência do pH do Meio e do Tempo de Sedimentação dos Flocos .....	54
5.3.2.	Efeito da Concentração de Tanino.....	59
5.3.3.	Influência das Condições de Agitação durante a Coagulação.....	62
5.3.4.	Influência das Condições de Agitação durante a Floculação .....	63
5.4.	Espectro de Absorção Final do Efluente Bruto 01 após o Tratamento em Condições Ótimas.....	64
5.5.	Aplicação do Tanfloc SG para Tratamento do Efluente Bruto 02.....	66
5.6.	Resultado final – Propriedades Físico-Químicas dos Efluentes 01 e 02 Pós-Tratamento .....	68
6.	CONCLUSÕES.....	69
	REFERÊNCIAS .....	71
	ANEXO – FICHA COMERCIAL DO TANFLOC SG .....	81

## 1. INTRODUÇÃO

Os efluentes líquidos industriais são o resultado da utilização da água, pelas indústrias, em diversos processos, como lavagem de máquinas, tubulações, sistemas de resfriamento, ou diretamente no produto. Por isso, os efluentes industriais variam de acordo com o tipo de produção das empresas e podem conter óleos diversos, metais pesados, entre outras substâncias altamente contaminantes e tóxicas (FOINA, 2013).

De acordo com a ONU, 1,1 bilhão de pessoas em todo o mundo não tem acesso a água potável. Nos países em desenvolvimento, 80% das mortes e enfermidades estão associadas a problemas com a água – por falta desse recurso ou por má qualidade. Além disso, no Século 20, o consumo da água multiplicou-se por seis – duas vezes a taxa do crescimento da população mundial. Esse contexto revela a necessidade cada vez maior de que as empresas que geram efluentes industriais adotem uma postura de compromisso e responsabilidade no tratamento adequado de suas águas residuais antes de promover o seu descarte nos corpos d'água.

A preocupação com a água enquanto recurso natural tem gerado ao longo dos anos diversas ações ambientais, sendo este recurso finito e com risco de escassez em algumas regiões. Diversos setores da indústria vêm se destacando como fortes consumidores deste recurso devido às inúmeras aplicações a que se destina dentro do processamento industrial (DRINAN e SPELLMAN, 2013).

A indústria de fabricação de molhos e temperos se apresenta como uma fonte geradora de efluentes bastante preocupante, uma vez que, além do alto volume de água demandado para uso em suas atividades, de acordo com a Agência Nacional de Águas seu aproveitamento é de somente de 20% (ANA, 2017). O restante constitui efluente gerado, que nem sempre é reaproveitado nas linhas de produção e em certas ocasiões é descartado inadequadamente em rios, prejudicando todo um conjunto de ecossistemas que dependem direta ou indiretamente desses corpos d'água.

Segundo Giordano (2004), os sistemas de tratamento de efluentes objetivam primordialmente atender à legislação ambiental e, em alguns casos, ao reuso de águas. Os efluentes tratados na indústria podem ser destinados ao uso em diversas finalidades, a depender de sua composição e dos processos empregados no tratamento. As aplicações variam normalmente desde a retroalimentação do próprio processo produtivo ou mesmo a utilização em atividades paralelas dentro das instalações como lavagem de ambientes ou de equipamentos, podendo ainda, entre

outras, ser adotado o simples descarte em corpos d'água desde que sejam obedecidos os critérios técnicos e legais estabelecidos para tal prática.

Águas industriais poluídas por compostos orgânicos são tratadas, mais comumente, através de sistemas biológicos, amplamente utilizados para o tratamento de efluentes lançados nos sistemas fluviais e marinhos, principalmente quando é considerado o seu baixo custo, desde a implantação, passando pela operação até a manutenção. Esse tipo de metodologia proporciona o tratamento de grandes volumes de efluente, e normalmente emprega microrganismos capazes de acumular ou degradar poluentes, como na descoloração por fungos, bactérias e algas, degradação microbiológica, adsorção por biomassa microbiológica, e sistemas de biorremediação (LOLITO et al., 2014). O tratamento biológico possui, entretanto, algumas desvantagens que levam à investigação de novos métodos ou, até mesmo, ao desenvolvimento de tratamentos alternativos. Entre as desvantagens destacam-se a grande área ocupada pelos sistemas convencionais de tratamento biológico (várias lagoas aeróbias, anaeróbias e facultativas), a exalação de odores desagradáveis e sua total inutilidade no caso da presença de alguns resíduos que contêm substâncias tóxicas ao processo (pouco biodegradáveis ou não biodegradáveis) – em geral, compostos contendo anéis aromáticos ou polímeros sintéticos (ANGELIS et al, 1998). Em se tratando de efluentes provenientes da produção de condimentos, deve ser levado em conta também que esse tipo de efluente geralmente possui alto teor de cloretos, que a partir de certos níveis tende a comprometer a atividade microbiológica, inviabilizando a adoção desse tipo de metodologia como alternativa ao tratamento (ZHAO et al., 2012).

Considerando as dificuldades e limitações inerentes ao uso do tratamento biológico, é natural a adoção de outras técnicas, ainda que de forma complementar. No caso das unidades de produção de condimentos, considere-se ainda o fato de que um dos corantes de maior uso, o Caramelo, possui uma composição química que ainda não é bem compreendida, a qual contempla compostos de diversas massas moleculares e uma variedade de componentes voláteis (ALMEIDA, 2011).

Um dos grandes desafios encontrados na aplicação de técnicas de tratamento de efluentes industriais é a remoção da cor, sobretudo em plantas cujos processos contemplam o uso de corantes, sejam eles naturais ou artificiais, o que é bastante comum no processamento de alimentos. De acordo com Cooper (1993), as principais técnicas disponíveis na literatura para descoloração das águas de rejeito envolvem principalmente processos de adsorção, filtração, biodegradação,

degradação química, eletroquímica, fotoquímica, precipitação e outros. Jern (2006) afirma que o processo de coagulação/floculação também pode auxiliar na remoção de corantes dissolvidos em águas residuais.

Largamente empregado em diversos segmentos da indústria, bem como em sistemas de tratamento de água bruta destinada a consumo humano, o processo de coagulação/floculação surge como uma alternativa bastante interessante diante da necessidade de uma técnica eficaz e de fácil execução sobretudo na remoção de cor, turbidez, dureza e coliformes (GRAY, 2005). O método se baseia na adição de um produto químico, o qual é insolúvel em água e, por meio de hidrólise, libera íons positivos que interagem com as partículas carregadas negativamente presentes no meio, formando flocos que são posteriormente removidos a partir de sua decantação.

Tradicionalmente, os agentes coagulantes utilizados são sais metálicos, como o sulfato de alumínio e o cloreto de ferro, que além de poderem apresentar toxicidade aos organismos, não são passíveis de serem degradados biologicamente, podendo persistir na água tratada ou no lodo gerado pela estação (DROSTE e GEHR, 2019). Além desses inconvenientes, quando o efluente é alcalino, é necessária a adição de ácido para ajuste de pH, que dificulta a operação de estações de tratamento e aumentam os custos com reagentes (ALBUQUERQUE, 2009).

A preocupação atual, em decorrência do uso sistemático do sulfato de alumínio como coagulante nas estações de tratamento de água, é de se estudar alternativas, como o emprego de outros coagulantes principalmente de origem vegetal (HEIDERSCHEIDT et al., 2016). Coagulantes naturais como os taninos apresentam a vantagem de serem moléculas biodegradáveis, sendo destruídas no próprio tratamento (ÖZACAR e SENGIL, 2002). O uso de coagulantes de origem natural, de acordo com Siqueira (2009), é uma alternativa viável para a substituição dos coagulantes químicos, principalmente em relação à biodegradabilidade, baixa toxicidade e baixa produção de lodo residual.

O agente coagulante Tanfloc SG, produzido pela empresa TANAC S. A., com sede no Rio Grande do Sul, é um polímero orgânico obtido inicialmente por meio de um processo de lixiviação da casca da Acácia negra (*Acacia Mearnsii* de Wildemann), o qual é constituído basicamente de tanato quartenário de amônio. O agente, entretanto, é submetido ainda a um processo industrial com a finalidade de alteração de suas propriedades antes de ser comercializado. Quando utilizado como coagulante e floculante, o lodo gerado não possui sais de alumínio ou ferro incorporados e, portanto, é biodegradável, o que possibilita sua compostagem e disposição final. Outras vantagens

são a redução da quantidade de lodo e sua maior amenidade à desidratação, ao contrário do lodo gelatinoso e volumoso oriundo do uso do  $Al_2(SO_4)_3$ . Além disso, os flocos resultantes da coagulação utilizando esse último são essencialmente de natureza inorgânica, o que não torna possível sua decomposição biológica (VAZ et al, 2010).

Não há na literatura um número muito grande de pesquisas que tenham explorado efluentes provenientes de processos produtivos envolvendo condimentos. Os trabalhos geralmente envolvem a remoção ou degradação de componentes específicos. Desse modo, este trabalho possui o propósito de investigar a aplicabilidade do coagulante Tanfloc SG como alternativa no tratamento de efluente produzido numa planta industrial de produção de condimentos, visando a contribuir com o desenvolvimento de metodologias que viabilizem o tratamento dos rejeitos desse tipo de processo. Os resultados foram obtidos através de estudos teóricos e experimentais, dando contribuição para a formulação de uma metodologia eficaz e eficiente a ser aplicada no tratamento de efluentes líquidos nesse ramo da indústria.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. A Produção Industrial de Condimentos**

A produção de condimentos contempla basicamente os molhos, temperos e fermentados acéticos. No caso de molhos e temperos, o processo se inicia com a coleta de matéria-prima (geralmente especiarias), a qual recebe um tratamento térmico que permite em seguida um descascamento adequado. A parcela aproveitada é então triturada e submetida à adição de sal (cloreto de sódio) e conservantes. Conforme o tipo de produto, a mistura final recebe ainda a adição de corante, que pode ser um aditivo orgânico natural ou sintético, antes de seguir para o envase.

Nas plantas industriais mais modernas, a produção de fermentados acéticos se dá via processo submerso (ZILIOLI, 2011). Esse processo caracteriza-se pelo fato de as bactérias acéticas estarem submersas no líquido a fermentar, local aonde irão se multiplicar e oxidar a mistura alcoólica em vinagre. Para catalisar essa reação, é necessário que a oxigenação seja bem administrada em todos os pontos do compartimento, por isso o equipamento utilizado (de grande capacidade) geralmente é feito em aço inoxidável, contendo uma turbina de ar no fundo e tubos por onde circula a água que refrigera esse sistema. O substrato é colocado no fermentador e

inoculado com vinagre forte ou com bactérias acéticas. O produto final deve conter 0,2% de álcool. Após a retirada do vinagre, é adicionado mais substrato alcoólico, utilizando como inóculo parte do volume do vinagre produzido antes no tanque. Depois, pode-se retirar a cada 24 horas um volume de vinagre que corresponde a um quarto do valor retirado do tanque, obtendo-se um aumento de 4% ao dia na ordem da acidez (SPINOSA, 2002).

Em linhas gerais, os rejeitos gerados nesses processos seguem características semelhantes aos efluentes de outros segmentos da indústria de alimentos: são caracterizados por elevadas concentrações de óleos e graxas, cloretos, sulfatos, nitratos e fosfatos e, como consequência, possuem alta DQO e DBO (FERRARI, 2015). A grande quantidade de materiais dissolvidos e suspensos geralmente resulta em altos valores de cor e turbidez. Sendo assim, despertam grande preocupação quanto aos graves problemas de poluição que podem vir a causar nos ecossistemas aquáticos em caso de descarte inadequado.

## **2.2. Corante Caramelo**

Os corantes são aditivos que possuem notória importância na indústria de alimentos, atuando no sentido de atribuir aos alimentos uma aparência característica bem como lhes proporcionar certa uniformidade. No entanto, ainda há uma tendência em boa parte da população mundial de pensar em qualquer aditivo alimentício como substâncias altamente complexas e, em muitas vezes, prejudiciais à saúde (ALMEIDA, 2011). Segundo Gomes (2007), apesar dos vários estudos sobre a segurança do uso de aditivos na indústria alimentícia, o seu emprego ainda é uma das tecnologias mais discutidas e polêmicas, embora sejam regulamentados pelas autoridades federais e por organizações internacionais que lhes garantem a segurança e inocuidade (VOLLMUTH, 2018).

Considerando a diversidade de tons de cor que podem ser explorados no contexto dos alimentos industrializados com a finalidade de proporcionar um caráter único do ponto de vista estético, preservando ainda características como a textura e o próprio aroma, são inúmeros os tipos de corantes constantemente desenvolvidos e aprimorados com o objetivo de atender adequadamente a esse mercado.

De acordo com Chappel e Howell (1992), o corante caramelo é provavelmente o corante alimentar mais antigo, assim como também o mais amplamente comercializado em todo o mundo.

Este constitui uma mistura de compostos orgânicos similares de alta massa molecular com propriedades ligeiramente distintas, e é encontrado na forma de líquido viscoso ou pó higroscópico que possui tons de coloração variando de vermelho a marrom-escuro, sendo utilizados para conferir coloração a vários alimentos. É usado em uma ampla gama de produtos, como geleias, picles, sorvetes e sobremesas congeladas, molhos, recheios e coberturas, carnes preparadas, vinhos, cervejas, bebidas refrigerantes e cervejas. Outros tipos de produtos que também utilizam corantes caramelo como ingredientes incluem alimentos para animais, cosméticos e até produtos farmacêuticos (VOLLMUTH, 2018).

Em tempos passados, a produção do corante caramelo se dava pelo simples aquecimento de açúcares a altas temperaturas (em torno de 200 °C) até que houve perda de 10 a 15% de seu peso inicial. Era usado açúcar de cana, apesar de também serem utilizados glicose, mel, melaço e misturas de açúcares. Glicose e frutose são os açúcares que caramelizam mais rapidamente. Com sua crescente utilização, e nas mais variadas aplicações alimentícias, foram introduzidas modificações no seu processo de fabricação, obtendo-se corantes com diferentes atributos funcionais e compatíveis com os vários tipos de alimentos e bebidas (CHAPPEL; HOWELL, 1992).

Com o aumento da produção e aplicações, houve necessidade de regulamentar e estabelecer especificações. Em 1940, nos EUA, a *Food and Drug Administration* (FDA) iniciou os procedimentos e determinou que o corante caramelo utilizado em alimentos e bebidas poderia ser identificado na rotulagem como “colorido de açúcar queimado”, “adicionado de corante caramelo” ou “colorido com caramelo”. Em 1958, o corante caramelo foi incluído na lista de produtos GRAS (*Generally Recognized as Safe* – Geralmente Reconhecidos como Seguros) (FDA, 2016). Os estudos desenvolvidos na época definiram então quatro classes distintas de corante caramelo, agrupadas de acordo com os reagentes utilizados como catalisadores de sua fabricação:

- Classe I: caramelo simples ou caramelo cáustico – preparado pelo tratamento térmico controlado de carboidratos com álcali ou ácido;
- Classe II: caramelo sulfito cáustico – preparado pelo tratamento térmico controlado de carboidratos com compostos contendo sulfito;
- Classe III: caramelo amônia ou caramelo *beer* – preparado pelo tratamento térmico controlado de carboidratos com compostos de amônia;

- Classe IV: caramelo sulfito amônia ou caramelo *soft drink* – preparado pelo tratamento térmico controlado de carboidratos com compostos de amônia e de sulfitos.

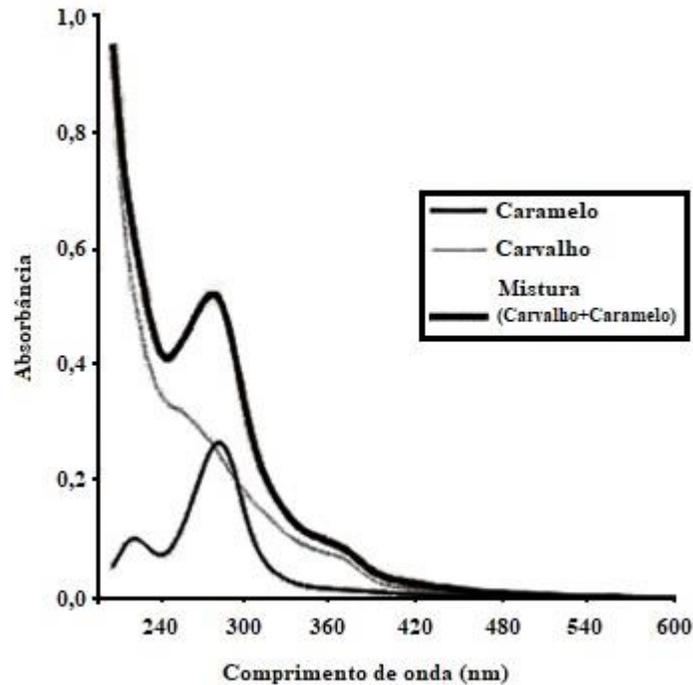
O caramelo I é largamente empregado em processos de produção de molhos e temperos, tanto pelas tonalidades de cor que é capaz de conferir como pela ausência de limitações de uso associadas a toxicidade. Não existe evidência científica que justifique sequer advertir os consumidores sobre eventual periculosidade decorrente de seu consumo.

De acordo com Pons et al., 1991, a composição química do corante caramelo não é bem definida, sobretudo em função do seu processo de obtenção, cuja variação dos parâmetros de controle como temperatura pode proporcionar um produto final de composição distinta. No geral, sua composição inclui compostos de diversas massas moleculares e uma variedade de componentes bastante voláteis.

Alguns tipos de corante caramelo contêm o composto 5-hidroxi metil-2-furfural (5-HMF). Porém, devido à baixa chance de formação do 5-HMF em meio alcalino e à possibilidade de interação com sulfitos, dependendo do processamento do corante, é possível encontrar uma pequena fração desse composto (ZENKEVICH et al., 2002). Diferenças em termos quantitativos foram encontradas nos quatro tipos de corante caramelo, sendo as classes I e II as que possuem as maiores quantidades. Não foi detectado no corante Classe III e muito pouca quantidade foi encontrada no corante Classe IV (BRENNNA et al, 2009).

Boscolo et al., 2002, estudaram metodologias de determinação via espectrofotometria de corante caramelo contido em cachaças envelhecidas em barris de carvalho. A Figura 01 mostra uma imagem dos espectros de absorção UV-Vis para o sistema estudado, onde é possível destacar a curva característica do caramelo.

**Figura 01:** Espectros de absorção produzidos durante o estudo de Boscolo et al., 2002, com destaque para o caramelo.



Fonte: Boscolo et al., 2002.

O estudo reportou que a banda formada em 282 nm corresponde a caramelos produzidos sem a adição de sulfitos, representada por compostos como o 5-hydroxymethylfurfural (HMF), principal composto presente no caramelo I. Outra região do espectro onde se observou absorção com menor intensidade foi em 210 nm. A pesquisa de Boscolo et al. rendeu várias conclusões importantes, mas, no âmbito do presente projeto, vale ressaltar que claramente se trata de um corante composto por diversas espécies distintas, dentre as quais várias não absorvem radiação na região visível do espectro (370 – 750 nm).

### 2.3. Coagulação

Partículas muito pequenas (incluindo coloides, bactérias, partículas que promovem cor e turbidez) presentes numa amostra de efluente não sedimentam com facilidade. A flutuabilidade e o arrasto (atrito) afetam tanto a taxa de sedimentação, como a temperatura da água e a viscosidade (METCALF e EDDY, 2007).

Basicamente, as impurezas presentes em efluentes líquidos são substâncias solúveis em meio aquoso e materiais suspensos, ambos normalmente responsáveis pela presença de uma coloração característica, e sendo os últimos causadores de turbidez. Grande parte dessas impurezas pode ser removida por sedimentação (Zeta-Meter Inc., 2019). No caso particular dos coloides, cuja dimensão varia entre 0,1  $\mu\text{m}$  e 1 nm (BASSET et al., 1981) e sendo pouco densos, estes não decantam de forma natural, de modo que a via capaz de promover uma decantação mais rápida dessas partículas é justamente possibilitar a sua agregação.

O processo de sedimentação é regido pela Lei de Stokes, que quantifica o deslocamento vertical descendente (por ação da gravidade) de partículas esféricas de baixo diâmetro imersas em fluidos viscosos incompressíveis em regime laminar, conforme mostra a Equação 01.

$$V = \frac{g \cdot d^2 \cdot (\rho_1 - \rho_2)}{18 \cdot \eta} \quad (\text{Equação 01})$$

Em que:

$V$  = velocidade terminal da partícula, em m/s;

$g$  = aceleração da gravidade local, em  $\text{m/s}^2$ ;

$d$  = diâmetro da partícula, em m;

$\rho_1$  e  $\rho_2$  = massas específicas da partícula e do fluido, respectivamente, em  $\text{kg/m}^3$ ;

$\eta$  = viscosidade dinâmica do fluido, Pa.s.

A Equação 01 evidencia que a velocidade de sedimentação da partícula possui uma relação direta com seu diâmetro e sua massa específica, de modo que, quanto maior e mais densa for, maior será a sua tendência a sedimentar. Essa compreensão ressalta a importância de agregar as partículas pequenas e de baixa densidade de modo a tornar possível removê-las do meio, e é justamente esse processo que recebe o nome de coagulação (ANDERSON, 1986).

Originário do latim *coagulare*, o termo “coagulação” significa “manter-se junto”, e identifica uma técnica baseada na adição de produtos que tem por finalidade a remoção de substâncias coloidais, ou seja, materiais sólidos em suspensão ou dissolvidos presentes na água. Essa operação normalmente é considerada como um pré-tratamento que objetiva o condicionamento do despejo para um tratamento subsequente (METCALF e EDDY, 2007). A

coagulação consiste no resultado de um fenômeno químico seguido de outro físico, no qual se faz uso de agentes coagulantes e/ou auxiliares de coagulação. O fenômeno químico ocorre quando há a reação de hidrólise de um coagulante em meio aquoso, liberando espécies de cargas positivas. Essa reação depende sobretudo da concentração do metal e do pH do meio. Já o fenômeno físico consiste no deslocamento das espécies hidrolisadas de forma a entrarem em contato com as impurezas presentes na água (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Os agentes coagulantes mais comuns correspondem a sais metálicos baseados em íons  $Al^{3+}$ , como o sulfato de alumínio. Quimicamente, quando adicionados à água, eles ionizam, produzindo íons  $Al^{3+}$ , alguns dos quais neutralizam as cargas negativas nos colóides. No entanto, a maioria dos íons de alumínio reagem com a alcalinidade na água para formar hidróxido de alumínio insolúvel. O hidróxido de alumínio absorve os íons da solução e forma um precipitado com aspecto de floco (DRINAN e SPELLMAN, 2013). A AWWA (American Water Works Association) (2010) descreve esse mecanismo em etapas:

- a) O alumínio adicionado à água bruta reage com a alcalinidade naturalmente presente para formar flocos gelatinosos de partículas de hidróxido de alumínio,  $Al(OH)_3$ . Um certo nível de alcalinidade é necessário para que essa reação ocorra. Assim, se a alcalinidade naturalmente presente não for suficiente, deve ser aumentada.
- b) O íon alumínio, carregado positivamente, neutraliza as partículas carregadas negativamente, geralmente responsáveis por conferir cor e/ou turbidez ao meio. Isso ocorre em 1 ou 2 segundos depois que o agente é adicionado à água, e é por isso que a operação de mistura é crítica para se produzir uma boa coagulação.
- c) Dentro de alguns segundos, as espécies começam a se unir e formar partículas maiores.
- d) Os flocos formados inicialmente consistem em microflocos que ainda possuem a carga positiva do coagulante. Eles continuam a neutralizar as partículas carregadas negativamente até se tornarem um aglomerado de partículas com carga neutra.
- e) Finalmente, o conjunto de pequenos flocos formados no meio começam a colidir entre si e grudar para formar partículas de flocos maiores e sedimentáveis.

## 2.4. Floculação

A floculação é um processo que ocorre logo após a coagulação. Nele as partículas em estado de equilíbrio eletrostaticamente instável no meio são forçadas a se movimentarem, a fim de que sejam atraídas entre si, formando flocos que, com a continuidade da agitação, tendem a aderir uns aos outros, tornando-se pesados o suficiente para sedimentarem (VIGORET, 1980). A floculação (ou "aglomerado" de partículas como resultado da coagulação) é o fator mais crítico que afeta a eficiência da remoção de partículas. Acelera a velocidade de sedimentação das partículas e precipitantes químicos (DRINAN e SPELLMAN, 2013).

Os termos “coagulação” e “floculação” são utilizados por muitos como sinônimos, considerando que ambos representam o processo integral de aglomeração das partículas. Mas é importante dizer que a coagulação é o processo por meio do qual o agente coagulante é adicionado à água e reduz as forças que tendem a manter separadas as partículas em suspensão, enquanto a floculação corresponde à aglomeração dessas partículas por meio de transporte de fluido, formando partículas maiores que tendem a sedimentar (RITCHER e NETTO, 1991).

Esse fenômeno é realizado por um processo de mistura lenta, projetado para promover o contato entre partículas, que irão colidir e “grudar”, se aglomerando (crescendo) até um tamanho no qual irão rapidamente sedimentar. A eficiência desse processo depende do gradiente de velocidade de mistura. Mistura em gradientes muito altos desagrega as partículas, quebrando os flocos em unidades menores e inviabilizando sua sedimentação. A operação é executada geralmente usando pás de agitação montadas horizontalmente em eixos acionados por motor. Essas pás devem girar lentamente, proporcionando agitação suave que permite o crescimento de flocos (DRINAN e SPELLMAN, 2013).

A formação de flocos depende de quanto material particulado está presente, do volume ocupado e, por fim, do gradiente de velocidade da agitação (SINCERO, 2003). A floculação das partículas já coaguladas resulta das várias forças de atração que atuam entre as partículas “neutralizadas” que se agregam umas às outras formando os denominados flocos. A própria velocidade de formação desses flocos depende no início da agitação térmica (movimento *Browniano*) e, ao atingirem um tamanho de cerca de 0,1 mm, depende também da agitação mecânica do meio (CRITES et al., 2014).

A floculação, entretanto, é um processo um tanto delicado. Quando a formação de flocos se dá de forma muito lenta, ou ainda, quando eles se separam com muita facilidade apenas em função do movimento da água, o uso de substâncias auxiliares ajuda na sedimentação e dão mais resistência ao floco. A essas substâncias dá-se o nome de auxiliares de coagulação, ou simplesmente floculantes. Polímeros (compostos orgânicos solúveis em água e de alto peso molecular que carregam múltiplas cargas elétricas ao longo de uma cadeia de átomos de carbono) são auxiliares de coagulação amplamente usados para ajudar a criar grandes flocos antes da sedimentação e filtração. Apesar da importância dos auxiliares de coagulação, seu uso não é estritamente necessário. Condições de processo adequadas podem permitir obter sucesso na floculação sem o uso de auxiliares, e nesses casos normalmente se diz que o agente coagulante também atua como floculante (METCALF e EDDY, 2007).

## **2.5. O Alumínio**

Historicamente, a China é a nação mais antiga no mundo a fazer uso de sulfato de alumínio no processo de clarificação de águas. Sua aplicação remonta ao século XIX, e nesse mesmo período o produto se tornou um coagulante bastante popular nos sistemas de abastecimento público de água em todo o mundo. Nos Estados Unidos, coagulantes inorgânicos como sais de ferro são largamente usados no tratamento da água desde 1880 (CHOY et al., 2014).

O desempenho de agentes coagulantes à base de alumínio, entretanto, chega a apresentar inconsistências em certas condições de trabalho, até mesmo em baixas temperaturas. Além disso, apresentam efeitos prejudiciais à saúde humana, produção de grandes volumes de lodo, bem como afetam significativamente o pH da água tratada (YIN, 2010). Como resultado desses aspectos, outros tipos de coagulantes passaram a ser utilizados, como o policloreto de alumínio (PAC), o qual já é bastante presente no mercado devido ao seu forte poder de coagulação e um menor consumo da alcalinidade do meio em relação ao sulfato (CHOY et al., 2014).

O alumínio é reconhecido como o metal mais abundante na crosta terrestre (representando cerca de 8%), com aplicações que variam desde a indústria farmacêutica à construção civil, incluindo até mesmo a produção de alimentos (MACEDO et al. 2016). É um elemento bastante reativo, que nunca é encontrado livre na natureza, mas combinado sob a forma de hidróxidos, silicatos, fosfatos ou sulfatos (RIBEIRO, 2016).

O fator abundância provavelmente explica o motivo pelo qual os coagulantes à base de alumínio constituem os mais representativos nos processos de clarificação de águas e efluentes. Em contrapartida, a crescente exposição da população mundial ao alumínio em detrimento de seu uso nas mais diversas aplicações tem levado o homem a experimentar uma intoxicação crônica e crescente (EXLEY, 2016).

No organismo humano, os elementos não essenciais como o alumínio são aqueles que não participam no metabolismo, ou cuja função fisiológica é desconhecida, e que podem causar graves danos à saúde. Cada célula ou órgão no corpo finda experimentando em algum momento alguma exposição a pelo menos um átomo de alumínio biologicamente reativo (EXLEY, 2016).

A ingestão através de alimentos, sobretudo daqueles que contêm compostos de alumínio usados na condição de aditivos alimentares, corresponde à principal fonte de exposição para a população em geral. A contribuição da água de consumo humano para o total dessa exposição ao alumínio é normalmente inferior a 5% do total. Ainda assim, apesar de os alimentos constituírem a principal via de entrada de alumínio no corpo humano, existe uma maior preocupação em relação àquele que está presente nas águas de abastecimento público e que são consumidas cotidianamente. O detalhe está no fato de o alumínio presente na água se apresentar em formas mais biodisponíveis, o que facilita sua absorção pelo organismo humano (RIBEIRO, 2016).

Os possíveis impactos do alumínio à saúde humana, seja pelo contato com o residual presente na água potável ou mesmo pela sua presença em alimentos, são constantemente discutidos na literatura. Rondeau et al. (2008), desenvolveram um estudo ao longo de 15 anos com pessoas expostas a dosagens de  $0,1 \text{ mg L}^{-1}$  de alumínio na água de abastecimento e concluíram haver uma relação direta com a ocorrência de casos de diminuição nas funções cognitivas e de demência. Os problemas de toxicidade por alumínio mostram-se agravados em doentes submetidos a hemodiálise, uma vez que, pelo comprometimento das funções renais, possuem limitações na capacidade de excretar substâncias tóxicas pela urina (TARPANI, 2012).

Os organismos aquáticos, sobretudo os que habitam corpos d'água que se configuram como receptores de descartes de efluentes, também são afetados pelo alumínio, pois absorvem metais e os introduzem nas cadeias alimentares. O acúmulo desses metais em vários órgãos dos seres marinhos provoca doenças devido a sua toxicidade, podendo vir a colocar em risco diversos ecossistemas aquáticos e outros organismos nas cadeias alimentares que eles compõem (OLIVEIRA et al., 2014).

## 2.6. Principais Parâmetros de Influência na Coagulação e Floculação

### 2.6.1. Temperatura

A temperatura da água pode afetar a eficiência dos processos de tratamento, principalmente porque interfere na dissolução química de reagentes, na solubilidade de oxigênio e nas taxas de reação. A alteração da temperatura pode criar condições nas quais se requer mais produtos químicos para viabilizar a coagulação/floculação de forma eficiente (DRINAN e SPELLMAN, 2013).

Smoluchowski em 1916 propôs um modelo matemático que demonstra que a temperatura pode contribuir com a coagulação e com a floculação através do aumento do contato entre as partículas presentes no meio (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

No entanto, Al-Layla e Middlebrooks (1975) avaliaram os efeitos da temperatura sobre remoção de algas usando coagulação/floculação com sulfato de alumínio. Para uma mesma dosagem de coagulante, a remoção de algas diminuiu à medida que a temperatura aumentou, sendo necessário até dobrar a dosagem para obter os mesmos resultados em temperaturas mais altas. Eles observaram que o tempo de decantação necessário para obter boas remoções, a redução do carbono orgânico total, a remoção total de fósforo e a remoção de turbidez variaram adversamente, à medida que a temperatura das águas residuais aumentava.

Khatti e Singh (2000) estudaram o efeito da temperatura na isoterma de adsorção do corante Cristal Violeta em serragem. Eles ajustaram o modelo de Langmuir aos dados empíricos e observaram que o aumento da temperatura promove redução na capacidade máxima de adsorção da serragem. Segundo os autores, o aumento da temperatura afeta a solubilidade e o potencial químico do adsorvato, sendo este último o fator controlador do processo. Se a solubilidade do adsorvato aumenta com o aumento na temperatura, o potencial químico diminui e ambos os efeitos (solubilidade e temperatura) trabalham na mesma direção, provocando redução na adsorção.

Aksu e Tezer (2005) também observaram o mesmo efeito da temperatura na cinética de adsorção de corantes têxteis em algas verdes (*Chlorella vulgaris*). Os resultados indicaram que o aumento de temperatura diminuiu a capacidade de adsorção dos corantes Remazol Vermelho RR e Remazol Amarelo Ouro RNL. Por outro lado, para o corante Remazol Preto B, o aumento de temperatura de 25 para 35°C provoca aumento na capacidade de adsorção, que os autores

atribuíram à provável sorção química, além do processo de sorção física. Adicionalmente, eles aumentaram a temperatura para 45 e 55°C, e ocorreram decréscimos da capacidade de adsorção de equilíbrio.

O aumento da temperatura pode vir também a prejudicar a sedimentação dos flocos a partir do aumento da turbulência no meio, impedindo que os flocos se sedimentem (ALBUQUERQUE, 2009).

### 2.6.2. pH

Águas residuais industriais apresentam valores de pH que podem variar dentro de uma faixa bastante ampla – de muito ácido a muito alcalino. Note-se também que uma fábrica pode gerar uma série de correntes de efluentes líquidos, e entre essas podem haver aquelas que são ácidas enquanto outras podem ser de natureza alcalina.

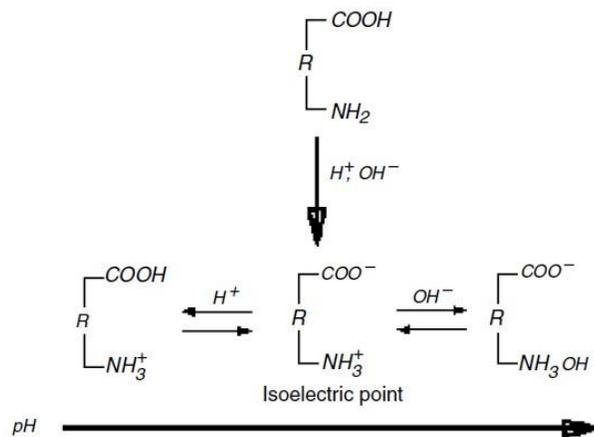
O controle do pH é uma consideração importante na coagulação. No uso de coagulantes tradicionais como os sais de ferro e alumínio, a solubilidade dos hidróxidos metálicos altera as condições ideais determinadas para cada efluente. A precipitação do hidróxido do metal amorfo é um requisito para que a maioria dos processos de clareamento por coagulação/floculação funcione efetivamente (JERN, 2006).

A forma como o pH afeta o rendimento do processo de coagulação/floculação é sobretudo, exercendo influência sobre a estabilidade das partículas coloidais (ANDERSON, 1986). Nos casos em que são utilizados polímeros como agente coagulante e/ou floculante, como os taninos, o pH do meio irá exercer também influência sobre o comportamento do próprio polímero em dissolução (CANEVAROLO, 2010).

As cargas primárias dos coloides hidrofílicos são devidas principalmente aos grupos polares tais como os grupos carboxílico e amina. O processo pelo qual as cargas sobre esses tipos de coloides são produzidas é indicado na Figura 02. O símbolo “R” representa o corpo do coloide. Primeiro, o coloide é representado na parte superior do desenho, sem o efeito do pH. Então, por uma combinação adequada de  $H^+$  e  $OH^-$  sendo adicionados à solução, o coloide atinge a ionização dos grupos carboxílico e amina. A partir de então, os dois grupos ionizados se neutralizam e a partícula assume a condição neutra. Este ponto é chamado de ponto de isoelétrico (IEP), e o íon correspondente do coloide é chamado a íon zwitter. Aumentar o pH adicionando uma base (adição

de  $\text{OH}^-$ ) causa a neutralização da extremidade ácida do íon zwitter (o  $\text{NH}_3^+$ ). Este desaparece e toda a partícula se torna carregada negativamente. O inverso é verdadeiro quando o pH é reduzido a partir da adição de um ácido. O  $\text{H}^+$  adicionado neutraliza a extremidade básica do íon zwitter (o  $\text{COO}^-$ ). Ele então desaparece e toda a partícula se torna positivamente carregada. A partir dessa compreensão, entende-se que um coloide hidrofílico pode atingir uma carga primária negativa ou positiva, dependendo do pH do meio (SINCERO, 2003).

**Figura 02:** Cargas primárias de um coloide hidrofílico em função do pH.



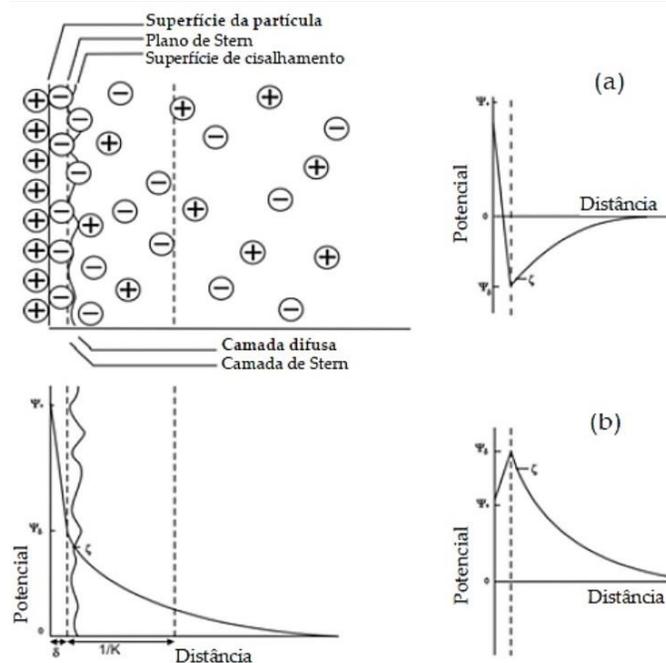
Fonte: Sincero, 2003.

Na dissolução de um polímero, as reações entre as moléculas de água e os vários íons na superfície dos mesmos não são uniformes do ponto de vista energético. Logo, o sinal da carga das moléculas de líquido da superfície é oposto ao sinal da carga dos íons de maior atividade na interface, presentes na solução. Visando a neutralizar a carga superficial das partículas sólidas em meio aquoso corre a atração de íons de sinais contrários. Os íons de mesmo sinal que a carga da superfície tendem a ser repelidos pela mesma, gerando assim um balanço dinâmico de cargas na interface. A adsorção dos íons de sinal contrário na superfície e a nuvem iônica que mantém o balanceamento de carga superficial em seu entorno geram uma estrutura denominada dupla camada elétrica – DCE (NASCIMENTO, 2012).

O modelo de Stern descreve a distribuição das cargas na DCE. Nele, os íons possuem tamanho finito e a dupla camada se divide em duas partes bem distintas, separadas pelo plano de Stern, que se localiza a uma distância da superfície igual ao raio dos íons hidratados. O modelo prevê a adsorção específica de íons, além da adsorção puramente eletrostática.

A Figura 03 demonstra a adsorção específica de íons contrários polivalentes ou tensoativos, levando à reversão do sinal da carga dentro do plano de Stern. A determinação do potencial elétrico no plano de Stern é bastante complexa, uma vez que é função de inúmeros parâmetros. Por essa razão, são feitas medidas de potencial no plano de cisalhamento da dupla camada elétrica, o qual é denominado Potencial Zeta e obtido por medidas eletrocinéticas (NASCIMENTO, 2012).

**Figura 03:** Representação da ruptura da estrutura da dupla camada elétrica, segundo o Modelo de Stern: (a) inversão da carga devido à adsorção específica de contra-íons (em geral surfactantes ou polivalentes); (b) adsorção de co-íons surfactantes.



Fonte: Shaw (1975).

Potencial Zeta é definido como o potencial eletrostático no plano de cisalhamento de uma partícula. O plano de cisalhamento corresponde a uma pequena distância a partir da superfície da partícula. É a distância na qual a camada de fluido presa à superfície da partícula pode ser cisalhada quando a própria partícula se move através do meio. A camada de fluido no plano de cisalhamento sempre se desloca com a partícula. Todo o fluido fora do plano, por outro lado, cisalha durante o movimento da partícula e se rearranja quando esse movimento cessa. O Potencial Zeta é o valor do potencial eletrostático nessa distância, medido a partir da superfície da partícula (DINGER, 2006).

Cada espécie possui um determinado ponto isoelétrico (IEP), que pode ser definido como o pH no qual a partícula em suspensão assume carga eletrostática superficial nula. Embora cada sólido tenha um só IEP, todas as partículas se comportam de forma similar em valores de pH acima e abaixo do seu próprio IEP. Em condições de pH menores que o IEP da partícula, a mesma carregará uma carga eletrostática positiva. Para um pH maior que o IEP da partícula, a partícula carregará uma carga eletrostática negativa. Quando se ajusta o pH a partir do IEP de um sólido para valores mais ácidos, a concentração excessiva de íons  $H^+$  produz cargas eletrostáticas superficiais positivas. Quando se ajusta o pH a partir do IEP pó para valores mais básicos, a concentração excessiva de íons  $OH^-$  produz cargas eletrostáticas superficiais negativas (DINGER, 2006).

Potencial Zeta tem valores típicos de 100 mV passando por 0 mV até -100 mV. Suspensões altamente estáveis estão associadas a um Potencial Zeta com valores absolutos maiores que 60 mV. Isto é, valores nas faixas entre 60 e 100 mV e entre -60 e -100 mV são indicativos de suspensões altamente estáveis. Numa suspensão coloidal, a floculação ocorre quando o Potencial Zeta é zero ou próximo de zero (entre 10 mV e -10 mV). Normalmente, para medir o Potencial Zeta mede-se a mobilidade eletroforética (EPM) da partícula, que é proporcional ao Potencial Zeta. Para medir a EPM, as partículas são submetidas a um campo elétrico constante e então é medida a velocidade segundo a qual viajam nesse campo. A velocidade das partículas por unidade de força do campo elétrico define a EPM, e então é possível calcular o Potencial Zeta (DINGER, 2006).

### **2.6.3. Condições de Agitação**

A coagulação não será tão eficiente se os produtos químicos não forem dispersados rapidamente em todo o tanque de mistura. Esse processo de mistura rápida do coagulante também é chamado de mistura *flash*. A mistura rápida distribui os produtos químicos imediatamente em todo o volume do tanque de mistura. Além disso, a coagulação deve ser seguida de floculação para aglomerar as minúsculas partículas formadas. Se a reação com o coagulante for permitida simplesmente em uma porção do tanque devido à ausência da mistura rápida, em vez de se espalhar por todo o volume, todos os mecanismos necessários para uma coagulação completa não irão ocorrer. Nesse caso, a neutralização de cargas não ocorrerá em todas as partes do tanque, pois

quando o coagulante chegar ao ponto em questão, a reação a neutralização de carga já terá ocorrido em algum lugar (SINCERO, 2003).

As interações interpartículas não serão tão eficazes, pois a força necessária para promover o contato não será suficiente sem uma mistura rápida. Os coloides não serão efetivamente adsorvidos à superfície dos coagulantes sem a mistura rápida, e o coagulante pode simplesmente ficar no mesmo local. Por fim, a compressão da camada dupla não será tão eficaz se não for ajudada pelas forças existentes devido à mistura. As forças da mistura ajudam a empurrar dois coloides um contra o outro, aumentando assim a coagulação. Portanto, por todos esses motivos, é importante a presença de uma etapa de mistura rápida para que se desenvolva a coagulação (SINCERO, 2003).

Após a coagulação, o gradiente de velocidade (a velocidade em que a água é movida no processo de mistura) deve ser rigorosamente controlado. A mistura deve continuar o suficiente para garantir que se mantenha o máximo de contato entre as partículas. Quanto mais pesados forem os flocos formados e maior for a quantidade de sólidos em suspensão, mais mistura será necessária, nesse caso num gradiente que permita manter a interação sem desagregar os flocos, até que ocorra a formação máxima de flocos e a sedimentação possa começar (DRINAN e SPELLMAN, 2013).

Ao longo do tempo, diversos autores têm estudado as condições de agitação tanto na coagulação como na floculação no sentido de otimizar o tratamento de diversos efluentes. Os vários registros disponíveis mostram bons resultados obtidos com diferentes velocidades e tempos de agitação em cada fase (CRITES et al., 2014). Özacar e Sengil (2002) analisaram a remoção de turbidez em amostras sintéticas de água utilizando um tanino como agente coagulante, e conseguiram redução de mais de 90% com agitação a 200 rpm por 1 min durante a fase de coagulação, seguida de floculação a 45 rpm por 15 min. Souza et al. (2013) conseguiram mais de 80% de redução de DQO, cor e turbidez tratando vinhaça com o Tanfloc SG mantendo agitação rápida a 100 rpm por 1 min e agitação lenta a 50 rpm por 30 min. Fazendo uso também de um polímero como agente coagulante, Tamrin e Zahrim (2016) conduziram uma série de experimentos para investigar o tratamento de efluente proveniente da extração de óleos vegetais através da moagem de palmas, conseguindo remoção de DQO da ordem de 70% com coagulação a 258 rpm por 3 min e floculação a 39 rpm por 20 min.

## 2.7. A Natureza dos Taninos e sua Aplicação como Agentes Coagulantes

Segundo Ribéreau-Gayon (1972 apud JORGE et al., 2001), o termo “tanino” é muito antigo, tendo sido introduzido a princípio por Seguin em 1796 a fim de descrever os constituintes químicos de tecidos vegetais responsáveis pela transformação de pele animal fresca em couro (curtimento, em inglês: tanning). As propriedades fenólicas dos agentes tanínicos, usados na indústria de curtimento de peles, foram demonstradas quando foram oxidados por permanganato a frio e produziram cor a partir da interação com sais de ferro. Entretanto, a principal característica dos taninos corresponde a sua capacidade de complexarem e precipitarem proteínas.

Os vários estudos realizados no âmbito do tratamento da água usando taninos revelaram que sua eficácia depende principalmente de sua estrutura química natural (considerando sua forma *in natura* quando extraídos das plantas) e do grau da modificação aplicada a essa estrutura (ÖZACAR e SENGIL, 2002).

Cationização de taninos é como é conhecido como procedimento químico que confere caráter catiônico a sua matriz orgânica, de modo que as principais características (como solubilidade, estabilidade em diferentes níveis de pH, capacidade de atuar como quelantes de metais pesados ou não) são mantidas enquanto outras são adicionadas. Essas novas habilidades têm a ver com o potencial de coagulação, já que agentes com carga positiva podem desestabilizar coloides aniônicos uma vez administrados em solução aquosa. Desestabilização e subsequente sedimentação provocam a remoção de uma imensa variedade de substâncias aniônicas, como corantes, surfactantes ou matéria orgânica (HEREDIA et al., 2010).

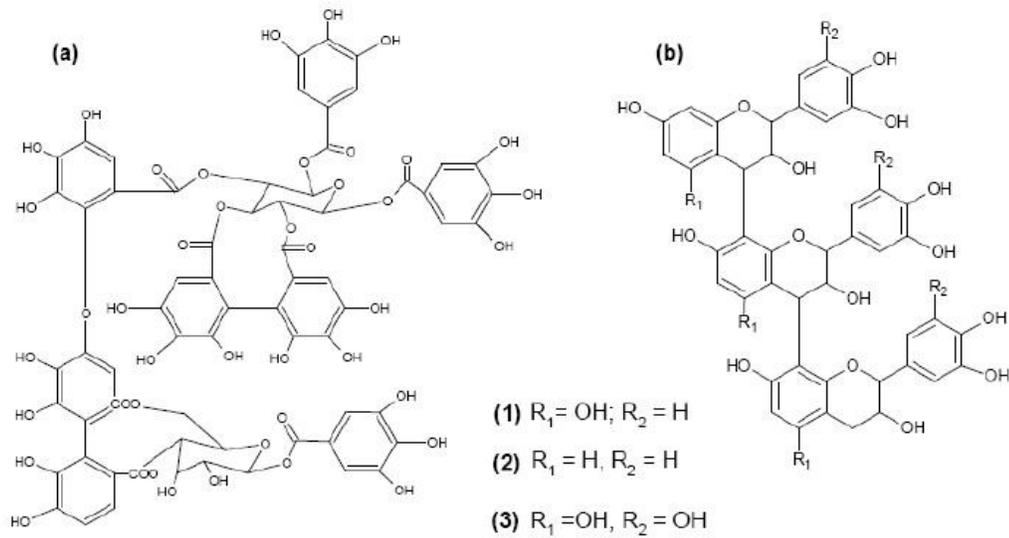
O Tanfloc SG é um polímero orgânico-catiônico que pode atuar como agente coagulante, floculante, ou mesmo auxiliar de coagulação. O produto não é comercializado em sua forma *in natura*. Constitui na verdade um tanino modificado, sendo ele de origem essencialmente vegetal porém resultado de um processo produtivo que utiliza como matéria-prima o tanino extraído da casca da espécie *Acacia Mearnsii* de Wildemann, também conhecida como acácia negra, cultivada no Brasil somente no Estado do Rio Grande do Sul. A empresa TANAC S. A. (fabricante do Tanfloc SG), por exemplo, possui plantações em área própria de mais de 30 mil hectares. As plantas são desenvolvidas e cultivadas com a utilização de tecnologia de ponta com alto grau de inovação, sendo a colheita das árvores toda mecanizada. Além disso, pequenos sítios e fazendas têm produção própria vendida para empresas desse segmento. A extração do tanino (20 a 30 % da casca) para a

produção do coagulante para tratamento de águas, por exemplo, é feita com água em grandes autoclaves (MANGRICH et al., 2014). No caso do Tanfloc SG, a TANAC não especifica qual a sua composição, de modo que não é possível saber qual a fração do tanino original, estabilizantes e outros componentes no produto.

Taninos podem ser classificados em duas grandes categorias: polímeros naturais e sintéticos. Os naturais possuem a vantagem de serem praticamente isentos de tóxicos, no entanto, devido à sua alta biodegradabilidade, geralmente têm menos vida útil de armazenamento. Já os sintéticos parecem propor mais eficácia aos processos de tratamento de águas e efluentes devido à possibilidade de controlar propriedades como tipo de carga e peso molecular. Reforçam essa importância estudos como o conduzido por Aber et al. (2010), no qual avaliaram o desempenho de diferentes tipos de coagulantes na tentativa de otimizar as variáveis de controle do processo monitorando a remoção de turbidez, DQO, Cr e sólidos totais dissolvidos. Como resultado, cada coagulante mostrou uma eficiência distinta quanto à remoção desses parâmetros, todavia o estudo não indicou nenhum deles como sendo o melhor para remoção simultânea de turbidez, DQO, Cr e sólidos totais dissolvidos. A seleção de um polímero apropriado para um processo específico é tão importante quanto desafiador, pois é necessário levar em consideração vários fatores que afetam o processo. Essa compreensão é crucial para maximizar simultaneamente o desempenho da coagulação/floculação e minimizar o custo associado. Nesse sentido, o desenvolvimento das técnicas de síntese e purificação de polímeros tem permitido produzir vários tipos de polímeros com características diferentes para atender aos mais diversos desafios (TAMRIN e ZHRIM, 2017).

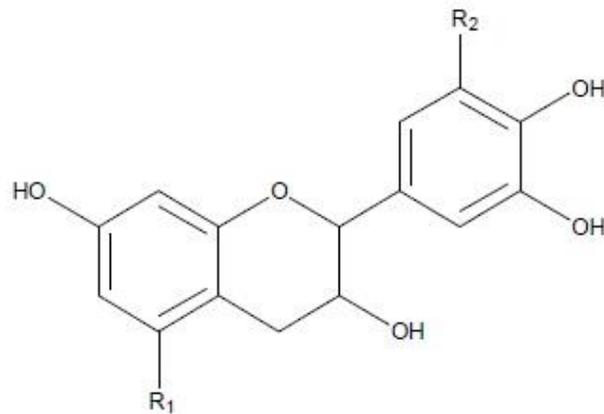
Outra forma de classificações de taninos estabelece a distinção entre hidrolisáveis ou condensados, como é possível observar nas estruturas da Figura 04. Os hidrolisáveis possuem como unidade básica o ácido gálico, que pode estar ligado a estruturas glicosídicas, também mostrado na Figura 04. Os principais monômeros isolados da casca da *Acacia Mearnsii* são a galocatequina e o robinetinidol, ilustrados nas estruturas que podem ser vistas na Figura 05.

**Figura 04:** Estruturas químicas de tanino hidrolisável (a) e condensado (b).



Fonte: Mangrich et al, 2014.

**Figura 05:** Principais monômeros da *Acacia Mearnsii*.



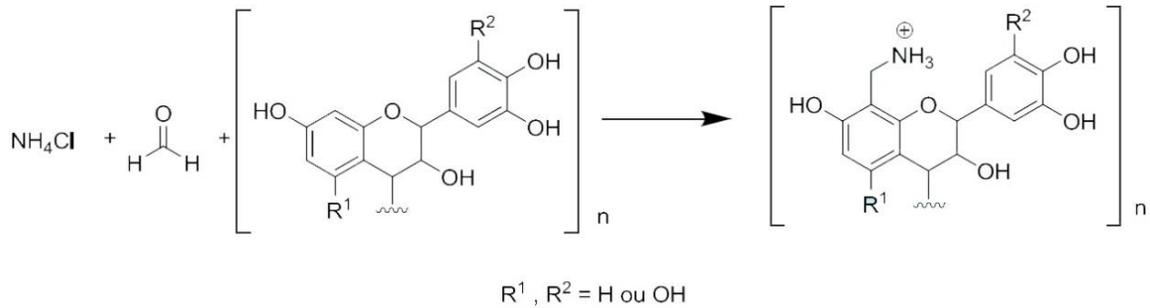
$R_1 = \text{H}, R_2 = \text{OH};$  robinetinidol       $R_1 = \text{H}, R_2 = \text{H};$  fisetinidol  
 $R_1 = \text{OH}, R_2 = \text{OH};$  galocatequina       $R_1 = \text{OH}, R_2 = \text{H};$  catequina

Fonte: Mangrich et al, 2014.

De acordo com Heredia et al (2010), o mecanismo proposto por Mannich explica o processo de obtenção do polímero orgânico catiônico. Na sequência de reações a partir do tanino condensado, ocorre primeiro a formação do cloreto de imínio pela reação do cloreto de amônio, ou

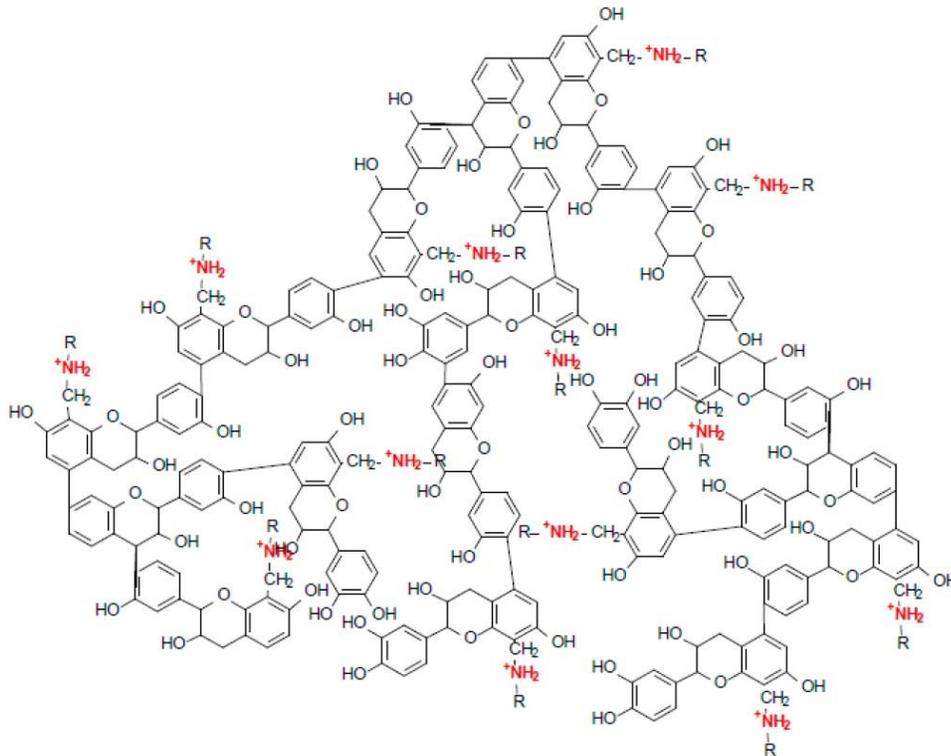
de outra amina que se queira usar, reagindo com o aldeído fórmico. Depois disso, o cátion imínio ( $-\text{CH}_2\text{NH}_3^+$ ) é inserido na posição 6 ou 8 de um dos anéis do polímero condensado, formando então o polímero orgânico catiônico. A Figura 06 traz um esboço genérico da reação, e a Figura 07 uma representação da estrutura polimérica do Tanfloc SG.

**Figura 06:** Mecanismo de obtenção do polímero orgânico catiônico pela reação de Mannich.



Fonte: Heredia, 2010.

**Figura 07:** Estrutura polimérica do Tanfloc SG.



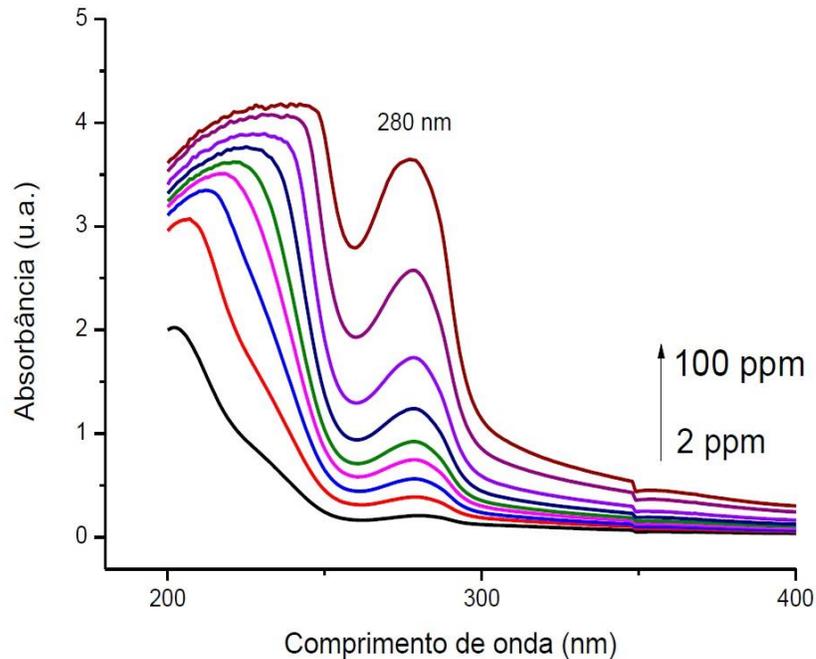
Fonte: Mangrich, 2014.

Os taninos não necessitam apresentar um peso molecular grande para que sejam efetivos como agentes desestabilizantes, que se dá pelo mecanismo de formação de pontes, neutralização de cargas ou ambos. Essa característica é consequência da capacidade dos polímeros orgânicos catiônicos em adsorver coloides carregados negativamente por interações químicas e eletrostáticas, bem como neutralizar a carga negativa primária nas partículas naturais (HEIDERSCHEIDT et al., 2016).

Ao utilizar um polímero catiônico como agente como agente coagulante, o que ocorre é a hidrólise do polímero, liberando no meio grupos ionizáveis que irão interagir com as partículas coloidais em suspensão. Como resultado dessas interações, acontece a desestabilização do sistema coloidal pela neutralização das cargas e a formação de microflocos, que vêm a sedimentar (PIANTÁ, 2008).

Santos (2014) produziu curvas UV-Vis a partir de padrões de taninos de *Acacia Mearnsii*, com concentrações de 2 a 100 ppm, as quais são mostradas na Figura 08. Os espectros mostram máxima absorbância em torno de 280 nm, traduzindo o comportamento de compostos fenólicos de taninos de *Acacia mearnsii* em relação à absorção de luz.

**Figura 08:** Espectros de absorção para taninos de *Acacia Mearnsii*.



Fonte: Santos, 2014.

## 2.8. Aspectos Legais Envolvendo a Remoção de Cor e Turbidez de Efluentes

No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão consultivo e deliberativo do SISNAMA (Sistema Nacional do Meio Ambiente), criado pela Lei 6938, de 31 de agosto de 1981, a qual institui a Política Nacional de Meio Ambiente em território nacional e é regulamentada pelo Decreto 99274, de 06 de junho de 1990. O CONAMA desempenha uma atividade de assessoria governamental, estabelecendo as linhas de direção que devem conduzir as políticas governamentais para a exploração e preservação do meio ambiente e dos recursos naturais, firmadas através de um conjunto de diretrizes.

Os critérios a serem adotados como referência para avaliar as condições do efluente tratado dependerão, em qualquer circunstância, da finalidade a que se destina o produto final, a saber, o efluente tratado. Desde que atendidos os requisitos necessários, efluentes industriais tratados podem ser destinados a reuso no processo produtivo dentro da própria planta, descartados em corpos d'água, ou mesmo utilizados em atividades distintas como irrigação ou aquicultura.

A Resolução nº 357 do CONAMA dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes (complementados pelas Resoluções nº 397 e nº 430). A Resolução nº 430 define que o lançamento indireto de efluentes no corpo receptor deverá observar o disposto no dispositivo em questão quando verificada a inexistência de legislação ou normas específicas, disposições do órgão ambiental competente, bem como diretrizes da operadora dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto sanitário. Ela também cita que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências que a própria dispõe e em outras normas aplicáveis.

O estudo proposto por este trabalho concentra-se na remoção de cor e turbidez de efluente de natureza industrial oriundo de uma unidade de produção de molhos, temperos e fermentados acéticos. Para fins de descarte, no que se refere aos critérios de cor, em termos quantitativos o CONAMA define  $75 \text{ mgPt L}^{-1}$  como sendo o limite máximo para a cor verdadeira (valor referenciado para águas doces de classes 1, 2 e 3). Quanto à turbidez, o critério mais restritivo definido é de 40 UNT (referenciado para águas doces de classe 1).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Geral**

O objetivo deste trabalho consiste em estudar a aplicação de um tanino modificado (nome comercial: Tanfloc SG) como agente coagulante e floculante, a ser usado no tratamento da carga de efluente gerado nos processos produtivos de uma fábrica de condimentos visando à remoção de cor e turbidez, com o intuito de contribuir com o desenvolvimento de metodologias eficazes de tratamento de efluentes líquidos nesse ramo da indústria.

#### **3.2. Específicos**

- Caracterizar o efluente produzido na unidade industrial, para determinação de suas principais características e propriedades físico-químicas;
- Determinar as melhores condições aplicáveis no processo de coagulação e floculação com o Tanfloc SG, sobretudo de pH e concentração de coagulante, com vistas à remoção de cor e turbidez;
- Reproduzir os experimentos de coagulação e floculação, utilizando um volume de efluente coletado em ocasião posterior, com o objetivo de analisar a consistência dos resultados no caso de o efluente gerado pela planta apresentar características distintas em função de sua dinâmica de produção.

### **4. METODOLOGIA**

#### **4.1. Coleta do Efluente**

O efluente utilizado foi coletado diretamente dos diques de contenção da planta de produção de condimentos da empresa Tempero Regina, localizada no município de Mossoró-RN. Os diques possuem formato ligeiramente cilindro e estão interligados numa configuração de vasos comunicantes. O sistema em questão possui capacidade nominal de 70 m<sup>3</sup>, e é alimentado semanalmente com mais de 7 m<sup>3</sup> de efluente que são gerados na unidade. A estrutura é dotada de

uma boca de visita (ver Figura 09), a partir da qual foi possível acessar o conteúdo e realizar as coletas, porém não permite promover uma homogeneização de toda a carga de efluente, o que significa dizer que as amostras coletadas correspondem a uma porção pontual que não representa necessariamente, de uma forma geral, o efluente armazenado.

**Figura 09:** Ponto de coleta nos diques de contenção de efluente da planta.



Fonte: Autoria própria.

A primeira coleta de efluente foi feita no dia 10 de julho de 2019, um total de 40 L, sendo esse material mencionado neste documento como Efluente Bruto 01. Uma segunda coleta foi realizada mais tarde (Efluente Bruto 02), no dia 06 de novembro de 2019, sendo também de 40 L. Em ambas ocasiões o material foi colhido a uma profundidade de aproximadamente 30 cm da superfície de líquido. O objetivo da realização de uma segunda coleta foi permitir replicar os experimentos elaborados para mais de uma amostra de efluente, visando a verificar a consistência dos resultados da aplicação do Tanfloc SG considerando que a planta industrial da qual foi coletado o efluente produz e comercializa mais de 80 diferentes produtos e, a depender de sua dinâmica de

processo, os rejeitos armazenados irão variar bastante no tocante a suas propriedades e características em geral.

#### 4.2. Ensaio de Clarificação

Os experimentos foram montados numa bancada utilizando um sistema de Teste de Jarro (Jar Test) microcontrolado dotado de 06 unidades de agitação, equipamento da marca Milan, modelo JT-203 (ver Figura 10), adaptado com seis béqueres de 1000 mL, o qual permitiu que cada batelada fosse desenvolvida de forma automatizada, sendo o ajuste das condições de agitação realizado previamente através da interface do equipamento.

**Figura 10:** Jar Test utilizado nos ensaios de coagulação/floculação.



Fonte: Autoria própria.

Em cada béquer foram adicionados 800 mL de amostra. Para promover a dispersão do coagulante e, em seguida, a formação dos flocos, foram utilizadas as condições de agitação em 120 e 45 rpm, respectivamente.

O efluente coletado inicialmente possuía pH de 3,50, enquanto o segundo possuía pH 3,40. Para efeito de ajuste dessa variável nos experimentos, foram utilizadas soluções de HCl e NaOH padronizadas, respectivamente, em 1,00 e 5,00 mol L<sup>-1</sup>. Cada solução foi preparada a partir de reagentes puros P.A. da marca Dinâmica.

O tanino usado como agente coagulante (Tanfloc SG) foi fornecido pelo próprio fabricante, a empresa TANAC S. A., na sua forma sólida (em pó).

### **4.3. Etapas dos Procedimentos Experimentais**

Todo o desenvolvimento experimental do projeto se deu nas dependências do Laboratório de Eletroquímica e Química Analítica (LEQA), localizado na UERN – Campus Central.

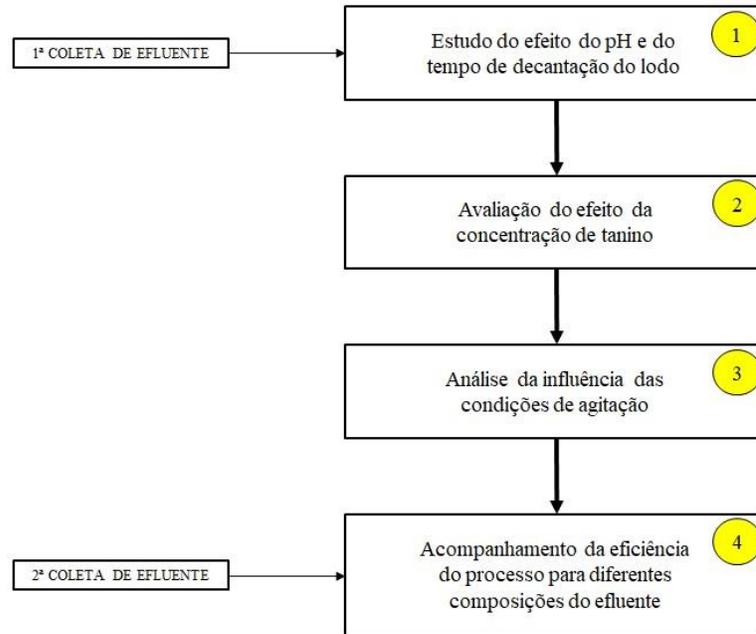
Os experimentos foram desenvolvidos dentro de 04 etapas, as quais são descritas a seguir e podem também ser compreendidas através da Figura 11. Essas etapas contemplaram um total de 09 experimentos, que também são discriminados logo mais.

Além da influência de certas propriedades do efluente, compreende-se que o processo de coagulação e floculação possui algumas variáveis de controle que, quando bem ajustadas, definem toda sua eficácia e sua eficiência. São elas: pH do meio, concentração do agente coagulante, velocidade de agitação rápida, tempo de agitação rápida, velocidade de agitação lenta, tempo de agitação lenta e tempo de decantação. Durante as Etapas 01, 02 e 03 foi feito uso somente do Efluente Bruto 01, e foram avaliados os efeitos de cinco desses parâmetros sobre o processo. Com o objetivo de otimizar cada variável até encontrar as melhores condições para o tratamento do efluente em questão, foi estabelecida uma comparação entre os espectros de absorção, obtidos via espectroscopia UV-Vis, tanto das amostras de efluente bruto quanto do efluente tratado (produto final de cada batelada). A espectroscopia UV-Visível foi utilizada para avaliar os resultados por ser uma técnica analítica de boa precisão cujos resultados permitem observar de forma qualitativa a remoção de cor e turbidez após a sedimentação dos flocos formados.

Em todas as etapas as velocidades de agitação rápida e lenta foram fixadas em 120 e 45 rpm, respectivamente. Tais valores correspondiam aos limites operacionais máximo e mínimo do equipamento utilizado (jar test), ambos dentro de uma margem de conformidade com o que reporta a literatura sobre o uso da técnica no tratamento de diversos tipos de efluente.

É importante ainda mencionar que não fez parte do escopo desta pesquisa análises envolvendo o lodo gerado.

Considerando que o Tanfloc SG é um tanino modificado, e o fabricante não disponibiliza sua composição, foram preparadas soluções padrão nas concentrações de 100, 200 e 300 mg L<sup>-1</sup>, as quais também foram analisadas via espectroscopia UV-Vis.

**Figura 11:** Fluxograma das etapas dos procedimentos experimentais.

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 01 apresenta um esboço resumido da margem operacional aplicada a cada uma das variáveis de controle do processo durante o estudo envolvendo o Efluente 01. Já a Tabela 02 se refere aos experimentos utilizando o Efluente 02.

**Tabela 01:** Faixa operacional atribuída a cada parâmetro de controle do processo durante o estudo do Efluente 01.

PARÂMETRO	VALOR	UNIDADE
pH do meio	3,50 – 9,00	-
Concentração de tanino	100 – 600	mg L <sup>-1</sup>
Velocidade de agitação rápida	120	rpm
Tempo de agitação rápida	3 – 6	min
Velocidade de agitação lenta	45	rpm
Tempo de agitação lenta	10 – 60	min
Tempo de sedimentação	30 – 60	min

**Tabela 02:** Faixa operacional atribuída a cada parâmetro de controle do processo durante o estudo do Efluente 02.

PARÂMETRO	VALOR	UNIDADE
pH do meio	6,00 – 7,00	-
Concentração de tanino	200 – 600	mg L <sup>-1</sup>
Velocidade de agitação rápida	120	rpm
Tempo de agitação rápida	3	min
Velocidade de agitação lenta	45	rpm
Tempo de agitação lenta	10	min
Tempo de sedimentação	30	min

#### 4.3.1. Etapa 01 – Otimização do pH e do Tempo de Sedimentação dos Flocos (Efluente Bruto 01)

Na Etapa 01 foram analisados simultaneamente o efeito do pH do meio sobre a eficiência do processo e o tempo de sedimentação dos flocos. Para um ponto de partida, foi adotado o tempo de 3 min para a agitação rápida e 30 min para a lenta. Também nessa etapa, a concentração de coagulante foi fixada em 400 mg L<sup>-1</sup> em todos os testes, dosagem definida arbitrariamente após observar a concentração de tanino utilizada nos mais diversos estudos já desenvolvidos. No que se refere ao tempo de decantação do lodo, em cada teste foi feita uma coleta de uma alíquota de efluente tratado decorridos 30 e 60 min, resultando um total de duas coletas. A ideia era identificar entre as opções adotadas qual o menor tempo suficiente para uma sedimentação satisfatória dos flocos formados.

A influência do pH foi avaliada a partir de uma variação de 3,50 (pH original do Efluente Bruto 01) até 9,00. Esta etapa foi desenvolvida por meio de um só experimento, denominado Experimento 01, e os dados relativos aos parâmetros avaliados são mostrados na Tabela 03.

**Tabela 03:** Valores adotados para os parâmetros estudados Experimento 01.

PARÂMETRO	VALOR	UNIDADE
pH do meio	3,50; 4,00; 4,50; 5,00; 5,50; 6,00; 6,50; 7,00; 7,50; 8,00; 8,50; 9,00	-
Tempo de sedimentação	30; 60	min

O menor valor de pH que rendeu os resultados mais satisfatórios quando comparados os espectros de absorção, bem como o menor tempo visto como sendo o necessário para a sedimentação dos flocos, foram então adotados nos testes seguintes.

#### 4.3.2. Etapa 02 – Otimização da Concentração de Coagulante (Efluente Bruto 01)

Na Etapa 02 a variável manipulada foi a concentração do tanino. Na ocasião foi desenvolvido um primeiro teste (Experimento 02) variando a concentração de 100 a 600 mg L<sup>-1</sup>. Com base nos melhores resultados um novo experimento foi realizado (Experimento 03), dessa vez numa faixa mais restrita dentro da inicial, a fim de obter conclusões mais precisas acerca da relação entre a dosagem de tanino e a eficiência do tratamento. As Tabelas 04 e 05 apresentam, respectivamente, os valores adotados para os parâmetros estudados no decorrer dos Experimentos 02 e 03.

**Tabela 04:** Valores adotados para o parâmetro estudado no Experimento 02.

PARÂMETRO	VALOR	UNIDADE
Concentração de tanino	100; 200; 300; 400; 500; 600	mg L <sup>-1</sup>

**Tabela 05:** Valores adotados para o parâmetro estudado no Experimento 03.

PARÂMETRO	VALOR	UNIDADE
Concentração de tanino	300; 350; 400; 450; 500; 550	mg L <sup>-1</sup>

#### 4.3.3. Etapa 03 – Otimização das Condições de Agitação (Efluente Bruto 01)

Tendo sido otimizados os parâmetros de pH e concentração de tanino nas Etapas 01 e 02, esses mesmos foram então fixados nos experimentos realizados na Etapa 03, na qual o objetivo foi analisar a influência dos tempos de agitação rápida e lenta sobre o processo de tratamento em questão. Assim como as variáveis anteriores, cada um desses tempos foi trabalhado isoladamente, de modo que, ao passo que o efeito de um deles era estudado, o outro era mantido sem variação.

Foi experimentado inicialmente dobrar o tempo de agitação rápida, passando então de 3 min para 6 min (Experimento 04). A concepção desse experimento se deu a partir da consideração de que um aumento de 3 min poderia ser interessante caso o processo respondesse com uma melhoria

razoável em termos de remoção de cor e turbidez. Não foi considerada a possibilidade de se adotar um tempo menor que 3 min para a agitação rápida em nenhum teste, entendendo-se que, ainda que porventura não resultasse em perda de eficiência no processo de tratamento, a economia em termos de custo com insumos como energia elétrica não seria representativa.

Em seguida, no Experimento 05 foi trabalhado o tempo de agitação lenta, sendo a primeira variação fixada em 60 min. Posteriormente, nos Experimentos 06 e 07, esse parâmetro assumiu os valores de 15 e 10 min, respectivamente. Tal redução poderia ser bastante interessante, contanto que não houvesse redução substancial na eficiência de tratamento retratada pelas análises realizadas.

#### 4.3.4. Etapa 04 – Aplicação do Tanfloc SG no Tratamento do Efluente Bruto 02

Na Etapa 04 outros dois experimentos foram desenvolvidos (Experimentos 08 e 09), porém fazendo uso do Efluente Bruto 02. Assumindo que as coletas realizadas nos diques de contenção da unidade forneceram volumes de efluente com características distintas do ponto de vista físico-químico, e que, portanto, poderiam exigir condições de processo também diferentes, o Experimento 08 foi realizado considerando uma variação da concentração de tanino entre 200 e 600 ppm, a um pH de 6,00. Nos mesmos moldes, o Experimento 09 foi feito com a mesma variação da dosagem de coagulante, porém com pH igual a 7,00. Quanto às demais variáveis de controle (velocidades de agitação, tempos de agitação e de sedimentação), esses testes foram conduzidos sob as mesmas condições observadas como ótimas para o tratamento do Efluente 01 (ver Tabela 02). A Tabela 06 apresenta os valores adotados para os parâmetros estudados no decorrer dos Experimentos 08 e 09.

**Tabela 06:** Valores adotados para os parâmetros estudados nos Experimentos 08 e 09.

PARÂMETRO	VALOR	UNIDADE
pH do meio	6,00; 7,00	-
Concentração de tanino	200; 300; 400; 500; 600	mg L <sup>-1</sup>

#### 4.4. Metodologia Analítica

Ao final de cada experimento, as amostras de clarificado resultantes foram coletadas com o auxílio de pipeta graduada, a uma profundidade de 1 cm da superfície do líquido contido em cada

béquer. Tanto no caso das amostras de clarificado como de efluente bruto foram colhidas 03 alíquotas de 25 mL para realizar as análises programadas.

#### **4.4.1. pH**

As análises de pH foram realizadas utilizando um medidor digital da marca TECNAL, modelo PG2000. Em se tratando do ajuste de pH realizado antes dos experimentos de coagulação e floculação, tanto a sonda com o eletrodo como o sensor de temperatura foram introduzidos diretamente nos recipientes contendo as amostras de efluente (béqueres).

#### **4.4.2. Espectroscopia UV-Visível**

Os espectros de absorção foram produzidos na faixa de 200 a 800 nm, utilizando um espectrofotômetro UV-Vis da marca Varian, modelo Cary 50, equipado com cubeta de quartzo de caminho óptico de 1 cm, metodologia padrão (AWWA; WEF; APHA). Com o intuito de evitar ultrapassar o limite de sensibilidade do espectrofotômetro, do volume coletado em cada alíquota foram retirados 2 mL para preparar soluções com diluição 1:10, as quais foram utilizadas para obter os espectros de absorção.

#### **4.4.3. Turbidez**

As análises de turbidez foram realizadas utilizando turbidímetro da marca TECNOPON, modelo TB-1000, seguindo metodologia Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 2130B (AWWA; WEF; APHA).

#### **4.4.4. Cor Aparente**

As análises de cor aparente foram realizadas utilizando fotocolorímetro microprocessado da marca Policontrol, modelo Aquacolor Cor, seguindo metodologia Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 4500-C1 G (AWWA; WEF; APHA).

#### **4.4.5. Condutividade**

Para análise de condutividade foi utilizado um condutivímetro da marca MARCONI, modelo CA 150, seguindo metodologia Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 2510B (AWWA; WEF; APHA).

#### **4.4.6. Cloreto**

As análises para determinação de cloreto foram feitas de acordo com metodologia padrão Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 4500-Cl<sup>-</sup> B (AWWA; WEF; APHA), via método de Mohr.

#### **4.4.7. Nitrato**

As análises para determinação de nitrato foram feitas de acordo com metodologia padrão Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 4500-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> E (AWWA; WEF; APHA), via método espectrofotométrico.

#### **4.4.8. Nitrito**

As análises para determinação de nitrito foram feitas de acordo com metodologia padrão Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 4500-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> B (AWWA; WEF; APHA), via método espectrofotométrico.

#### **4.4.9. Demanda Química de Oxigênio**

A DQO foi obtida utilizando um medidor multi-parâmetro da marca HANNA, modelo HI 83214, segundo o método EPA 410.4. As digestões das amostras foram feitas em um termo-reator de mesma marca, modelo 839800.

#### 4.4.10. Demanda Bioquímica de Oxigênio

A DBO<sub>5,20</sub> foi feita de acordo com metodologia padrão Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 5210 B (AWWA; WEF; APHA), via método titulométrico.

### 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 5.1. Caracterização dos Efluentes Brutos

A Tabela 07 apresenta as principais características do Efluente Bruto 01 e do Efluente Bruto 02.

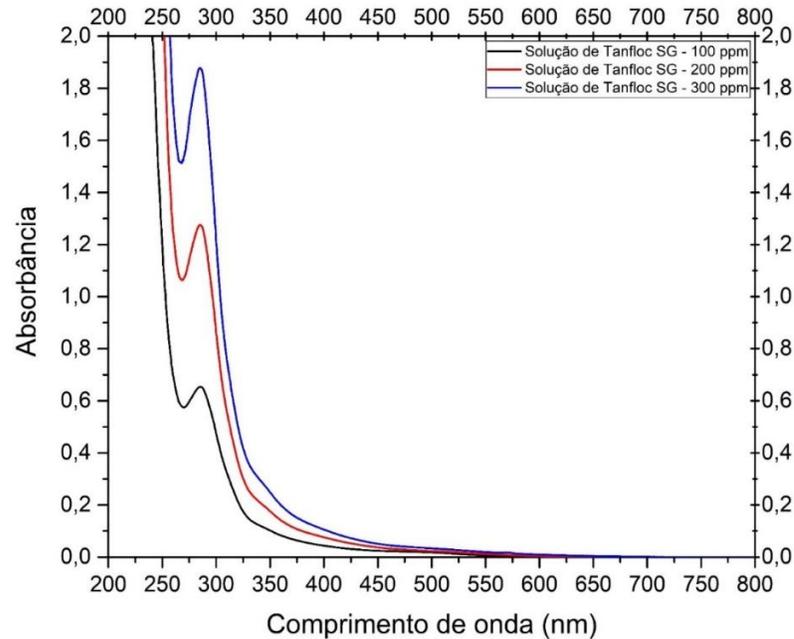
**Tabela 07:** Propriedades físico-químicas dos Efluentes Brutos 01 e 02.

PARÂMETRO	Efluente Bruto 01	Efluente Bruto 02
pH	3,50	3,40
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	32109,3	5478,7
DBO (mg L <sup>-1</sup> )	–	940,50
Turbidez (UNT)	97,9	67,72
Cor Aparente (mgPt L <sup>-1</sup> )	420,8	46,9
Condutividade (mS/cm)	3,472	3,674
Teor de Cloretos (mgCl <sup>-</sup> L <sup>-1</sup> )	8862,5	14180,0
Teor de Nitratos (mgNO <sub>3</sub> <sup>-</sup> L <sup>-1</sup> )	0,00	0,00
Teor de Nitritos (mgNO <sub>2</sub> <sup>-</sup> L <sup>-1</sup> )	0,01	0,01
Sólidos Totais Dissolvidos (mg L <sup>-1</sup> )	186	732

#### 5.2. Espectros de Absorção do Tanfloc SG

A Figura 12 mostra os espectros de absorção obtidos a partir das soluções padrão de Tanfloc SG, com pico de absorção em 285 nm, além de uma segunda banda, pouco definida, observada entre 325 e 375 nm.

**Figura 12:** Espectros de absorção do Tanfloc SG nas concentrações de 100, 200 e 300 mg L<sup>-1</sup>.



Fonte: Autoria própria.

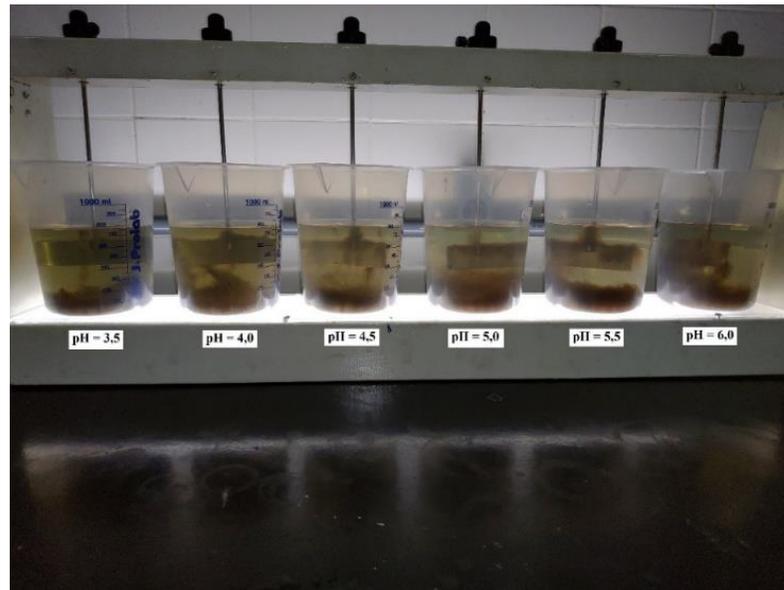
### 5.3. Determinação das Condições Ótimas do Processo de Tratamento

Os experimentos realizados durante as Etapas 01, 02 e 03, as quais são descritas no item 4.3, permitiram definir as condições mais viáveis, tanto do ponto de vista técnico quanto econômico, necessárias para garantir uma eficiência satisfatória no tocante à remoção de cor e turbidez no processo de tratamento do efluente da primeira coleta. Os resultados são detalhados a seguir.

#### 5.3.1. Influência do pH do Meio e do Tempo de Sedimentação dos Flocos

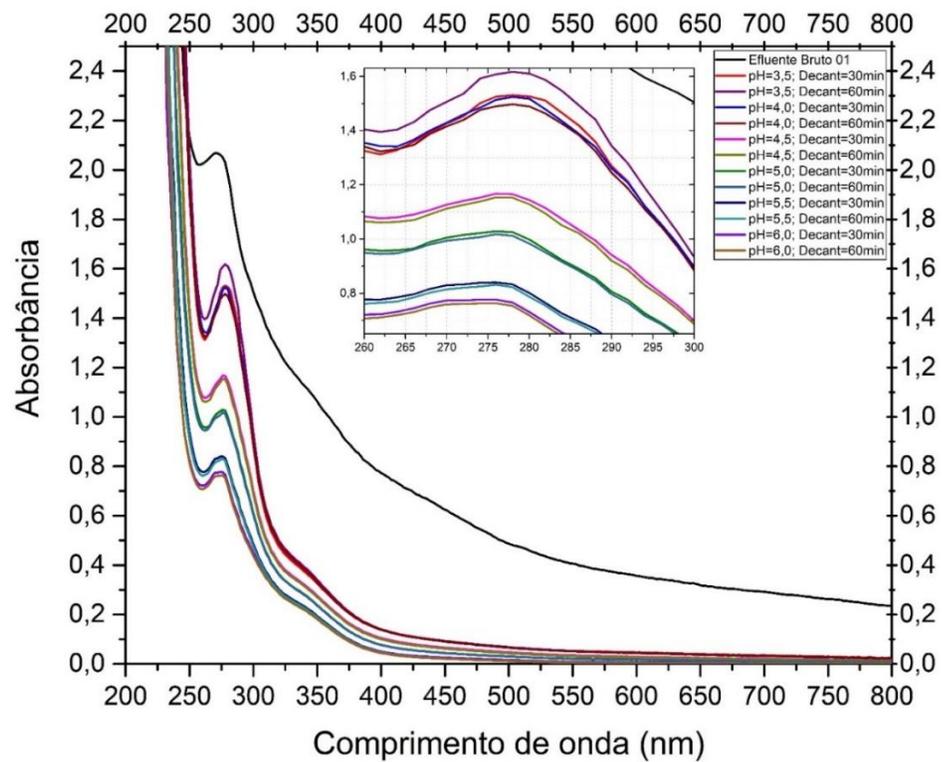
A Figura 13 apresenta o aspecto visual do sistema de jar test ao término do Experimento 01 com pH na faixa 3,5 – 6,0, enquanto a Figura 14 apresenta as curvas UV-Vis das amostras de efluente tratado coletadas com 30 e 60 min de sedimentação dos flocos (decantação do lodo), em relação ao espectro da amostra de efluente bruto.

**Figura 13:** Registro visual do sistema de jar test ao término do Experimento 01 (pH: 3,5 – 6,0).



Fonte: Autoria própria.

**Figura 14:** Espectros de absorção das amostras coletadas no Experimento 01 em relação ao Efluente Bruto 01, dentro da faixa de pH 3,5 – 6,0.



Fonte: Autoria própria.

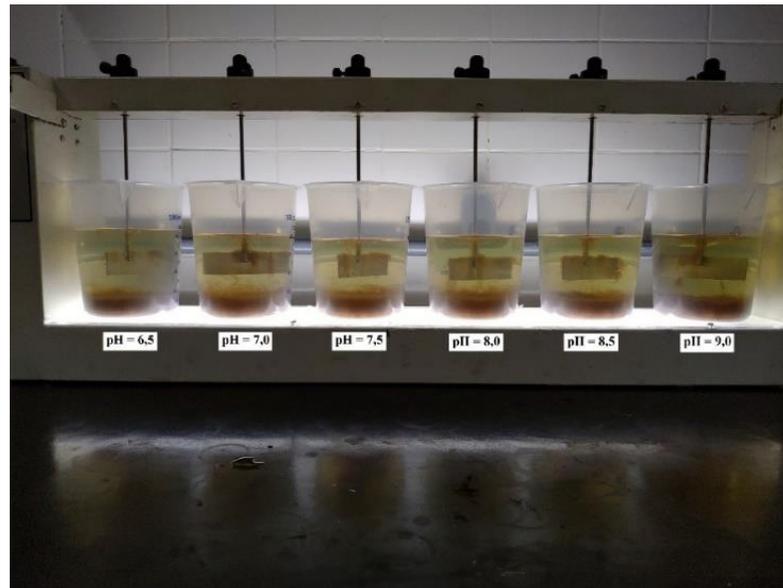
Analisando o espectro do Efluente Bruto 01, observa-se a formação de uma banda principal na região do UV, com máxima absorção em 270 nm, além de uma outra de baixa intensidade formada entre 325 e 375 nm. Em se tratando de um efluente real, não é possível apontar com precisão todas as espécies que compõem a mistura utilizando somente a espectroscopia UV-Visível, até mesmo pela possibilidade da presença de diversos compostos que absorvem radiação em comprimentos de onda muito próximos, o que geralmente origina bandas largas resultantes da conjugação de bandas mais estreitas. Uma identificação precisa exigiria associar também a espectroscopia por infravermelho, ou talvez fazer uso de cromatografia. Ainda assim, o resultado indicado pela banda principal muito provavelmente pode ser atribuído à presença de compostos orgânicos com cadeia aromática (compostos fenólicos), além de poder representar nitrato, nitrito, compostos do próprio corante caramelo, entre outras espécies em sua composição.

A partir dos espectros das amostras de efluente tratado, é possível afirmar que nos testes realizados com valores de pH mais baixos (especialmente 3,5 e 4,0) a floculação não foi tão satisfatória quanto em condições de pH mais alto, uma vez que houve queda menos acentuada da absorbância na região da luz visível, indicando menor remoção de cor e turbidez. Por outro lado, à medida que o pH foi aumentado houve decaimento da banda de absorção na região do UV, o que pode ser atribuído sobretudo à diminuição da carga aromática.

Na faixa de pH entre 3,5 e 6,0, foi justamente nesse último que se observou o menor comprimento nominal da banda. Ao mesmo tempo, o deslocamento da linha de base em relação ao efluente bruto, com redução da absorbância a níveis que representam baixa absorção na região da luz visível, indicou que a condição de pH 6,0 se mostrou mais eficaz para a remoção de cor e turbidez.

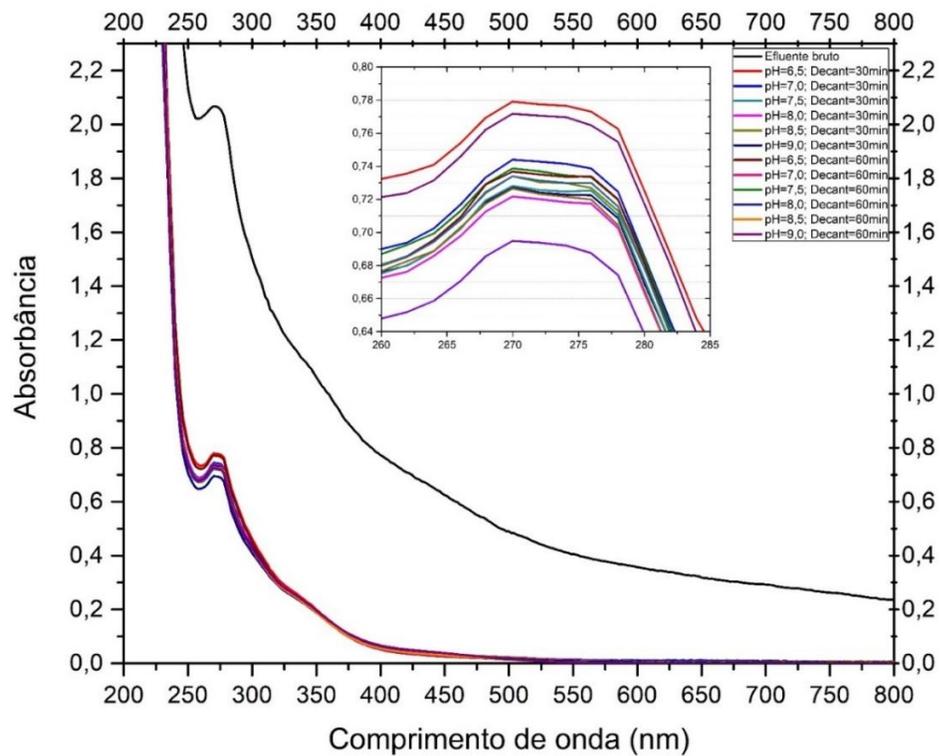
As Figuras 15 e 16 demonstram os resultados obtidos adotando o pH na faixa de 6,5 a 9,0.

**Figura 15:** Registro visual do sistema de jar test ao término do Experimento 01 (pH: 6,5 – 9,0).



Fonte: Autoria própria.

**Figura 16:** Espectros de absorção das amostras coletadas no Experimento 01 em relação ao Efluente Bruto 01, dentro da faixa de pH 6,5 – 9,0.

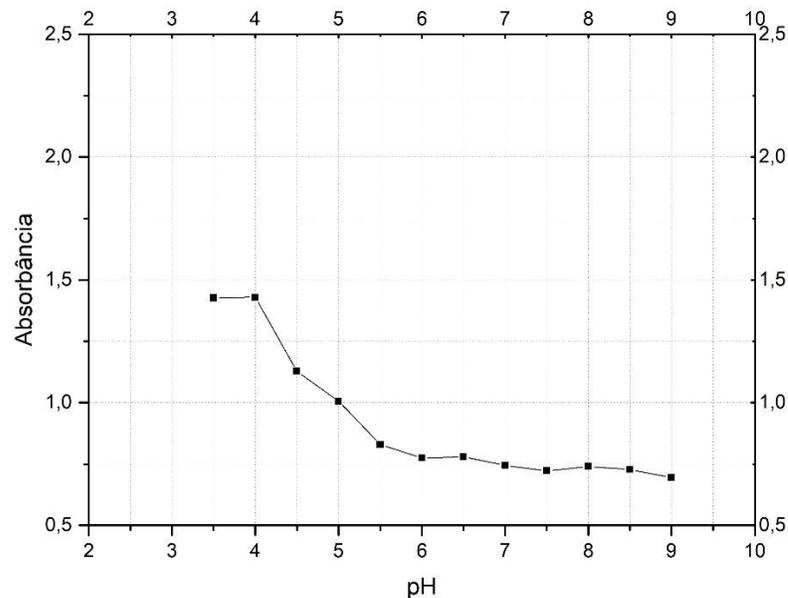


Fonte: Autoria própria.

Os testes na faixa de pH entre 6,5 e 9,0 mostraram que mesmo aumentando o valor desta variável não houve diminuição significativa na intensidade da principal banda de absorção, sugerindo não haver diferença relevante em termos de remoção de compostos fenólicos e outras espécies que absorvem radiação nessa região do espectro. Outra possibilidade a ser considerada no sentido de explicar o aumento da absorção de luz na região do UV em certas condições de pH seria a presença de tanino no meio, o qual não teria reagido e formado flocos, permanecendo então disperso. Quanto à remoção de cor e turbidez, os resultados foram extremamente semelhantes em todas as condições.

A Figura 17 estabelece uma comparação, considerando as condições de pH 3,5 – 9,0, entre os valores de absorbância obtidos em 270 nm, que evidencia o ponto de máxima absorbância no espectro do Efluente Bruto 01. Os valores são das amostras coletadas com 30 minutos de decantação de lodo.

**Figura 17:** Absorbância no comprimento de onda de 270 nm para cada condição de pH.



Fonte: Autoria própria.

Em linhas gerais, o processo foi igualmente eficiente no sentido da remoção de cor e turbidez quando adotado pH de 6,0 até 9,0. Além disso, foi vista uma queda similar do comprimento da banda de absorção formada na região do UV. Houve uma nítida diminuição dessa banda à medida

que o pH aumentou ao longo de toda a faixa trabalhada (3,5 – 9,0), bem como da banda mais discreta mencionada anteriormente. Levando em consideração que o pH original do Efluente Bruto 01 (igual a 3,5) exigiu a adição de solução alcalina visando ao ajuste dessa variável, foi fixado o pH 6,0 nos próximos experimentos com esse efluente. O intuito foi preservar a eficiência do processo de tratamento frente aos objetivos da pesquisa, sem abrir mão do princípio da economicidade no que refere à demanda de solução básica para ajuste de pH.

Quanto ao tempo de sedimentação dos flocos formados, a comparação entre os espectros em 30 e 60 min demonstrou que não foi necessário mais do que 30 min para promover uma sedimentação satisfatória.

### **5.3.2. Efeito da Concentração de Tanino**

Ajustando a partir de então o pH do meio em 6,0, e adotando o tempo de decantação do lodo para realizar as coletas de clarificado em 30 minutos, foi conduzido o estudo acerca da influência da dosagem do tanino sobre o processo de clarificação.

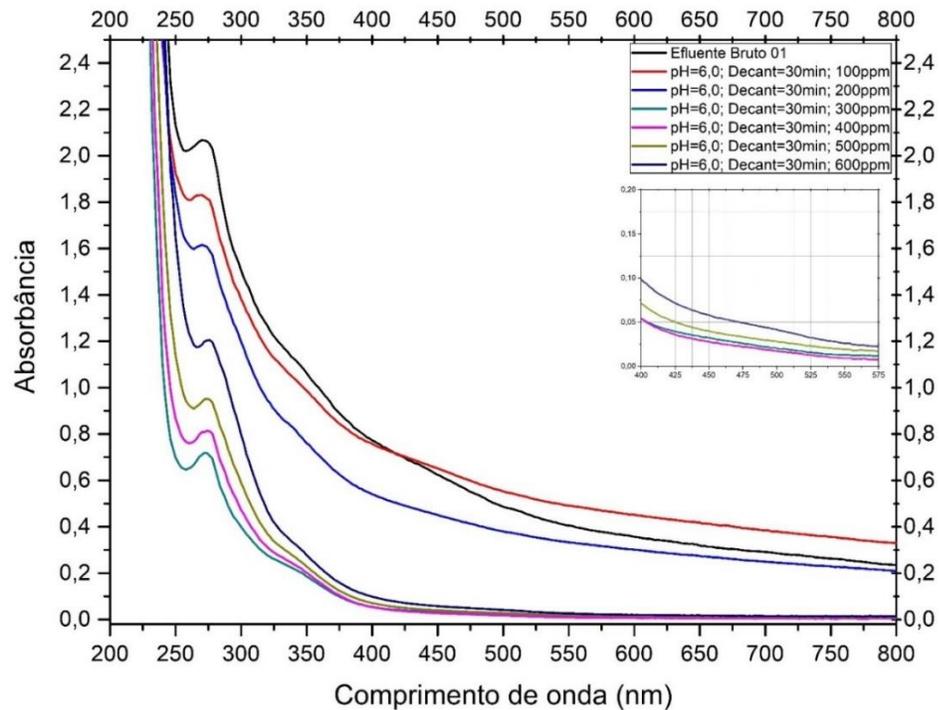
A Figura 18 apresenta o registro visual feito após o término do Experimento 02, e a Figura 19 demonstra a partir dos espectros de absorção a influência promovida pela dosagem do Tanfloc SG.

**Figura 18:** Registro visual do sistema de jar test ao término do Experimento 02 (concentração do coagulante: 100 – 600 mg L<sup>-1</sup>).



Fonte: Autoria própria.

**Figura 19:** Espectros de absorção das amostras coletadas no Experimento 02 em relação ao Efluente Bruto 01 (concentração de coagulante: 100 – 600 mg L<sup>-1</sup>).

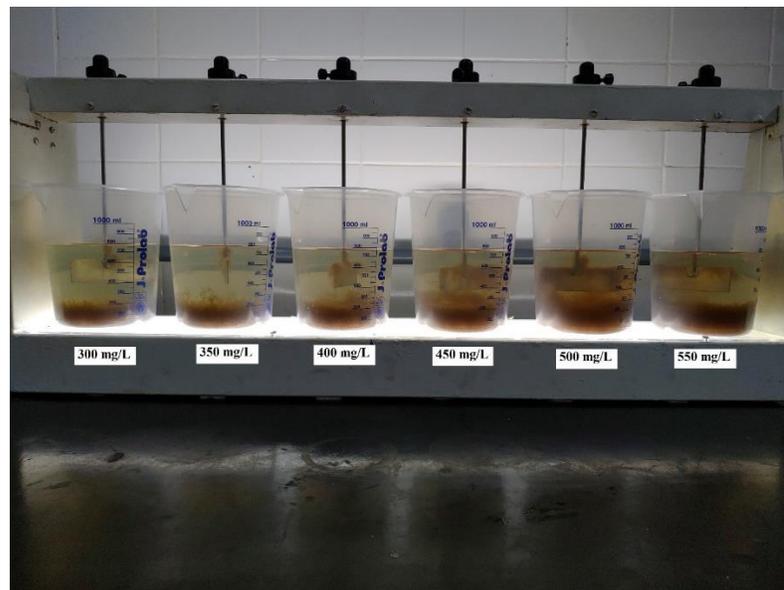


Fonte: Autoria própria.

Os espectros das amostras de clarificado revelam que não houve floculação eficaz com 100 e 200 mg L<sup>-1</sup> de tanino, o que explica, ainda que em termos de percepção visual, o registro apresentado na Figura 18. A curva da amostra de 100 mg L<sup>-1</sup> apresentou deslocamento da linha de base acima da condição inicial (efluente bruto) na região do visível, caracterizando inclusive o aumento de cor e turbidez no meio. A dosagem de 300 mg L<sup>-1</sup> proporcionou o maior decaimento da banda de absorção na região do UV, e foi visto que à medida em que se adotou uma concentração maior, houve aumento do comprimento dessa banda, provavelmente provocado pela presença de grupos funcionais liberados pelo próprio tanino e que se mantiveram dispersos no meio. Ou seja, o próprio tanino, quando adicionado acima de 300 mg L<sup>-1</sup>, estaria ficando disperso no meio, aumentando a carga orgânica presente.

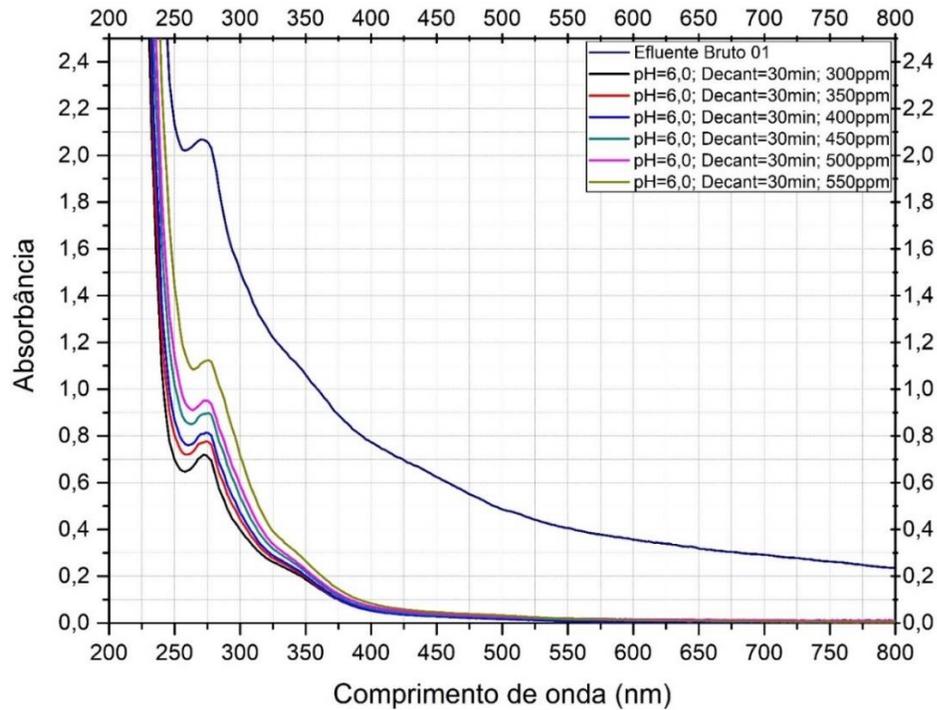
Restringindo mais o intervalo de dosagem de coagulante, o ensaio seguinte trabalhou essa variável nos valores de 300, 350, 400, 450, 500 e 550 mg L<sup>-1</sup>. A Figura 20 apresenta o registro visual feito imediatamente após o término desse teste, e a Figura 21 traz um esboço das curvas obtidas via espectroscopia UV-Vis.

**Figura 20:** Registro visual do sistema de jar test ao término do Experimento 03 (concentração do coagulante: 300 – 550 mg L<sup>-1</sup>).



Fonte: Autoria própria.

**Figura 21:** Espectros de absorção das amostras coletadas no Experimento 03 em relação ao Efluente Bruto 01 (concentração de coagulante: 300 – 550 mg L<sup>-1</sup>).



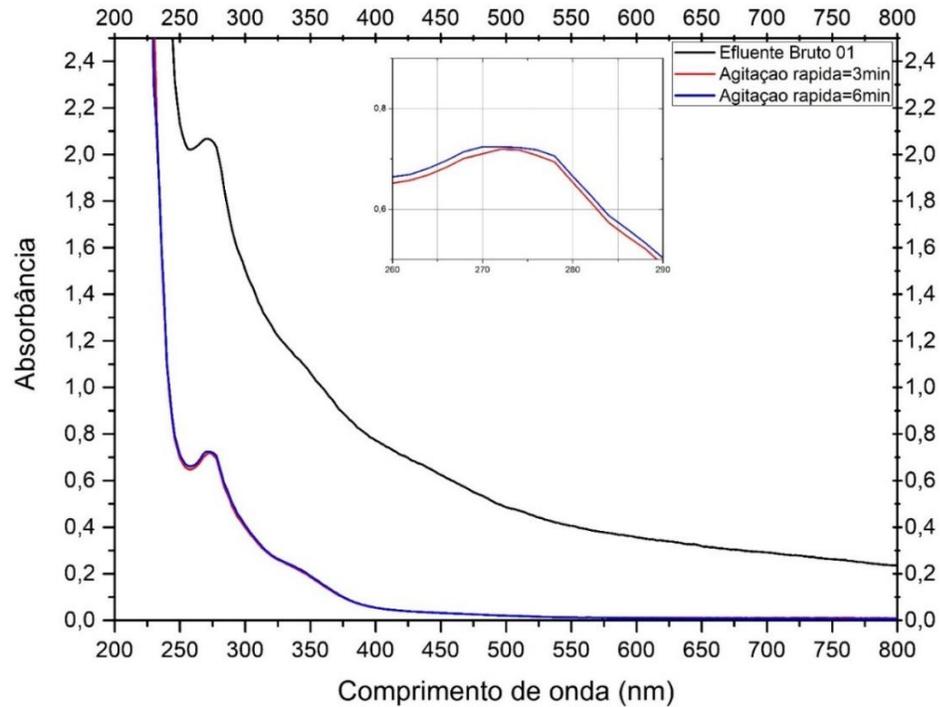
Fonte: Autoria própria.

Com a dosagem de 300 mg L<sup>-1</sup>, foi observada a maior remoção de cor e turbidez, e ainda a queda mais acentuada da banda de absorção formada próxima aos 270 nm, com máxima remoção de compostos fenólicos. O aumento da concentração de tanino também aumentou a intensidade da absorção em torno da região mencionada, provavelmente pela presença de tanino disperso. Os resultados mencionados definiram a concentração de 300 mg L<sup>-1</sup> como o ponto ótimo para esse parâmetro.

### 5.3.3. Influência das Condições de Agitação durante a Coagulação

No Experimento 04 foi imposta uma variação no tempo de agitação rápida, fixado em 6 minutos, e os resultados são mostrados na Figura 22.

**Figura 22:** Espectros de absorção das amostras de efluente tratado coletadas ao se adotar o tempo de agitação rápida em 3 e 6 min, em relação ao Efluente Bruto 01.



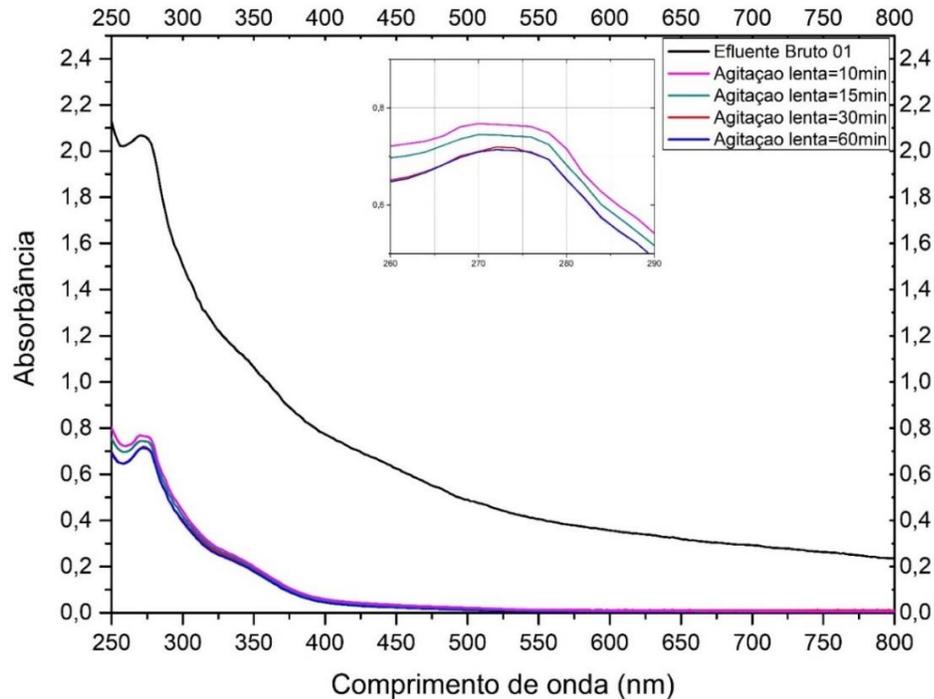
Fonte: Autoria própria.

A análise dos espectros mostrou que dobrar o tempo de agitação rápida não implicou melhoria na remoção de cor e turbidez, permitindo afirmar que o tempo de 3 min foi satisfatório nesse sentido, sustentando ainda uma maior viabilidade econômica.

#### 5.3.4. Influência das Condições de Agitação durante a Floculação

Nos Experimentos 05, 06 e 07 o processo foi então avaliado para diferentes valores de tempo de agitação lenta. Nessa ideia, adotou-se inicialmente o tempo de 60 min (o dobro do que havia sido fixado até então), e em seguida 15 e 10 min. Os resultados são mostrados na Figura 23.

**Figura 23:** Espectros de absorção relativos às amostras de efluente tratado nas diferentes condições de tempo de agitação lenta, em relação ao Efluente Bruto 01.



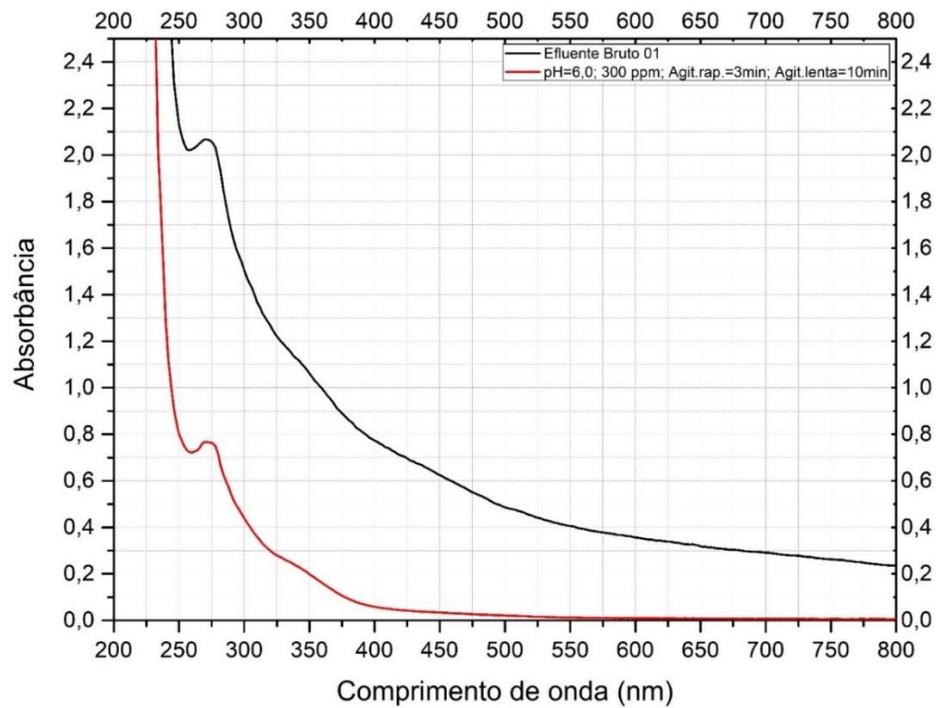
Fonte: Autoria própria.

O decaimento da linha de base em relação ao efluente bruto permite afirmar que todas as condições se mostraram eficazes e de eficiência semelhante quando comparadas em torno da remoção de cor e turbidez. Uma diferença visível entre as curvas, porém pouco relevante, está na banda de absorção presente na região do UV, pois houve aumento na remoção da carga orgânica à medida que se aumentou o tempo de agitação lenta. Sob essas considerações, e considerando ainda a importância do fator tempo na viabilidade econômica do processo, considerou-se o tempo de agitação lenta de 10 min como sendo o melhor valor para essa variável.

#### **5.4. Espectro de Absorção Final do Efluente Bruto 01 após o Tratamento em Condições Ótimas**

A Figura 24 apresenta o espectro de absorção da amostra de efluente tratado dentro das condições ótimas encontradas para o processo, tendo como objeto de estudo o Efluente Bruto 01, e a Figura 25 representa um registro visual.

**Figura 24:** Espectro de absorção da amostra do Efluente 01 pós-tratamento, em condições ótimas, em relação ao bruto.



Fonte: Autoria própria.

**Figura 25:** Registro visual da amostra de clarificado ao término do teste executado em condições ótimas com o Efluente Bruto 01.

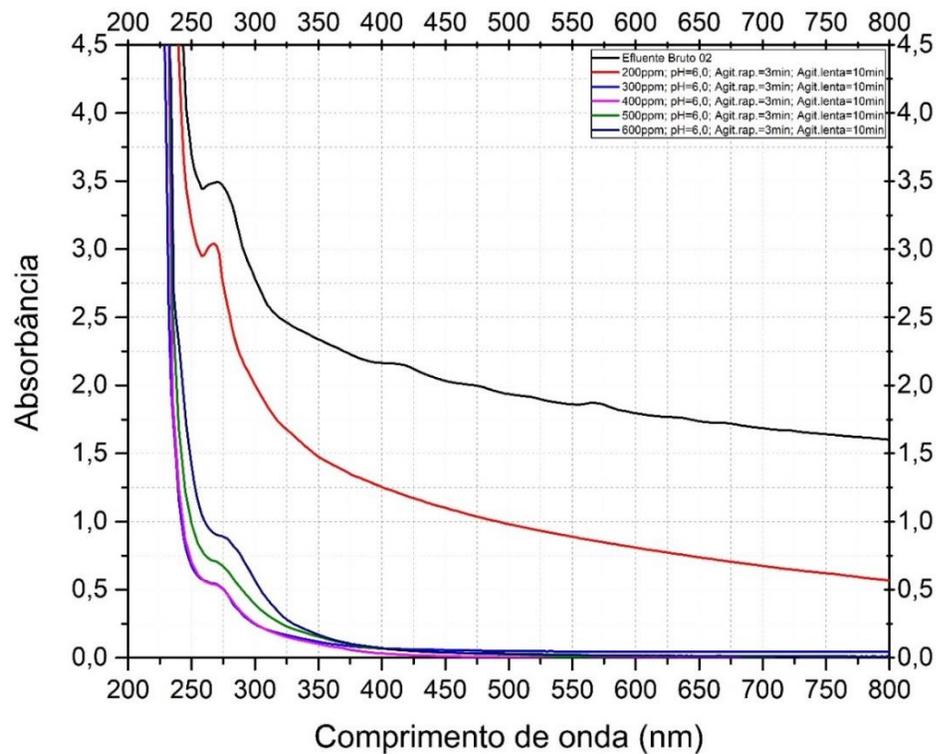


Fonte: Autoria própria.

### 5.5. Aplicação do Tanfloc SG para Tratamento do Efluente Bruto 02

As Figuras 26 e 27 mostram os espectros de absorção obtidos como resultado dos experimentos realizados com o Efluente Bruto 02 nos valores de pH de 6,00 e 7,00, respectivamente, ambos com a dosagem de coagulante em 200, 300, 400, 500 e 600 mg L<sup>-1</sup>.

**Figura 26:** Espectros de absorção obtidos no tratamento do Efluente Bruto 02 em pH 6,0 (concentração do coagulante: 200 – 600 mg L<sup>-1</sup>).

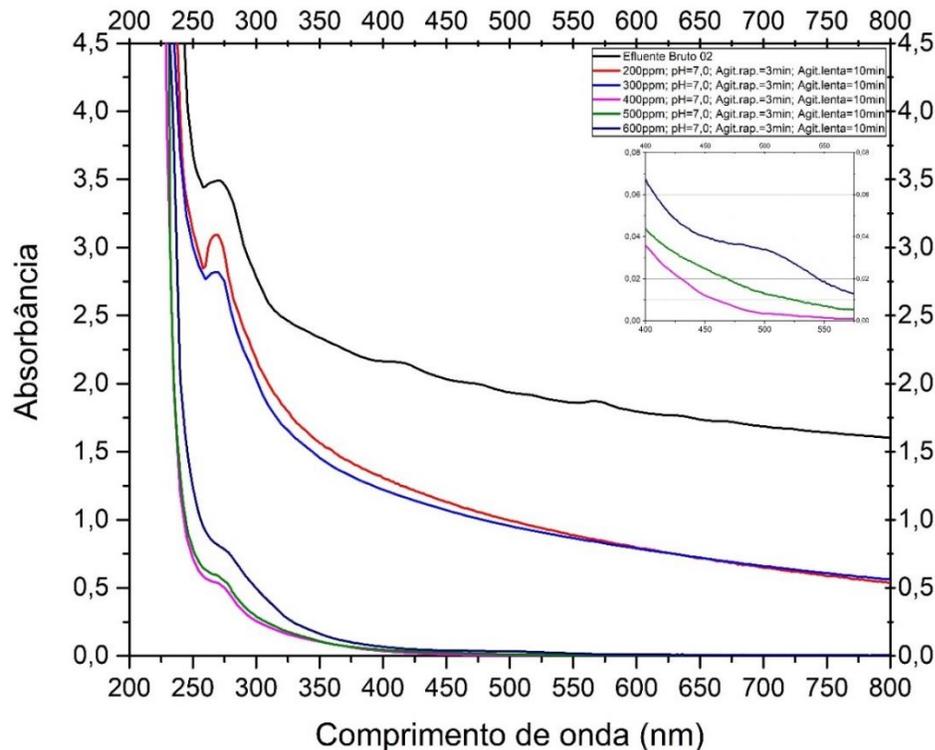


Fonte: Autoria própria.

O espectro do Efluente Bruto 02 apresenta certa semelhança com o obtido na análise do Efluente Bruto 01, sobretudo quando à banda de absorção presente na região do UV. Esse aspecto reforça a natureza similar de ambos, com provável presença de compostos fenólicos, entre outras espécies que também absorvem radiação nessa região do espectro. O nível da linha de base do Efluente Bruto 02 aponta um padrão de maior coloração em relação ao primeiro efluente, em função da maior absorbância, e é possível notar ao longo do espectro pontos de espalhamento de luz que denunciam o caráter turvo da amostra.

No tratamento do Efluente Bruto 02 em pH 6,00 foram obtidos ótimos resultados quanto à remoção de cor e turbidez nas dosagens de 300, 400, 500 e 600 mg L<sup>-1</sup>. As concentrações de 300 e 400 mg L<sup>-1</sup> renderam resultados com eficiência similar em toda a faixa do espectro, com decaimento da banda de absorção vista na região do UV, e absorbância próxima de zero na região do visível. Com a concentração do Tanfloc SG em 200 mg L<sup>-1</sup>, houve baixa diminuição na intensidade da absorção na região do UV, indicando uma remoção discreta da carga aromática, com queda razoável da absorbância na faixa que caracteriza a luz visível.

**Figura 27:** Espectros de absorção obtidos no tratamento do Efluente Bruto 02 em pH 7,0 (concentração do coagulante: 200 – 600 mg L<sup>-1</sup>).



Fonte: Autoria própria.

Quando em pH 7,00, o sistema apresentou pouca remoção de cor e turbidez trabalhando nas dosagens de tanino em 200 e 300 mg L<sup>-1</sup>. Já nas outras condições houve remoção quase completa tanto da cor quanto da turbidez, sobretudo com 400 e 500 mg L<sup>-1</sup>. A oscilação na absorbância no teste feito com 600 mg L<sup>-1</sup> em torno de 500 nm foi tratado como um mero desvio estatístico, sem impacto relevante nos resultados.

### 5.6. Resultado final – Propriedades Físico-Químicas dos Efluentes 01 e 02 Pós-Tratamento

As Tabelas 08 e 09 apresentam, as principais características dos Efluentes 01 e 02 após serem submetidos a tratamento nas condições que renderam maior remoção de cor e turbidez. Alguns procedimentos analíticos apresentaram interferências e seus resultados foram desconsiderados.

**Tabela 08:** Propriedades físico-químicas do Efluente 01 na condição inicial (bruto) e pós-tratamento.

PARÂMETRO	Efluente 01 (inicial)	Efluente 01 (final)
pH	3,50	6,00
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	32109,3	–
DBO (mg L <sup>-1</sup> )	–	–
Turbidez (UNT)	97,9	3,83
Cor Aparente (mgPt L <sup>-1</sup> )	420,8	36,6
Condutividade (mS/cm)	3,472	7,787
Teor de Cloretos (mgCl <sup>-</sup> /L)	8862,5	2658,8
Teor de Nitratos (mgNO <sub>3</sub> <sup>-</sup> L <sup>-1</sup> )	0,00	0,00
Teor de Nitritos (mgNO <sub>2</sub> <sup>-</sup> L <sup>-1</sup> )	0,01	0,01
Sólidos Totais Dissolvidos (mg L <sup>-1</sup> )	186	852

**Tabela 09:** Propriedades físico-químicas do Efluente 02 na condição inicial (bruto) e pós-tratamento.

PARÂMETRO	Efluente 02 (inicial)	Efluente 02 (final)
pH	3,40	6,00
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	5478,7	–
DBO (mg L <sup>-1</sup> )	940,50	–
Turbidez (UNT)	67,72	5,12
Cor Aparente (mgPt L <sup>-1</sup> )	46,9	23,7
Condutividade (mS/cm)	3,674	10,120
Teor de Cloretos (mgCl <sup>-</sup> L <sup>-1</sup> )	14180,0	1772,5
Teor de Nitratos (mgNO <sub>3</sub> <sup>-</sup> L <sup>-1</sup> )	0,00	1,1
Teor de Nitritos (mgNO <sub>2</sub> <sup>-</sup> L <sup>-1</sup> )	0,01	0,01
Sólidos Totais Dissolvidos (mg L <sup>-1</sup> )	732	1060

## 6. CONCLUSÕES

É fato que os resultados encontrados tratam de um contexto específico de uma planta real de produção de condimentos, que pela própria dinâmica operacional gera rejeitos em condições diversas, todavia, em se tratando de uma linha de processo de baixa complexidade, é provável que as conclusões colhidas possuam boa representatividade num âmbito geral.

Os experimentos desenvolvidos comprovaram a viabilidade técnica do Tanfloc SG como um eficiente coagulante na remoção de cor e turbidez das amostras de efluente que foram alvo desta pesquisa. A concentração do coagulante foi o parâmetro mais significativo no processo de clarificação e, considerando as duas cargas de efluente estudadas, a dosagem do tanino em 300 mg L<sup>-1</sup> resultou em remoção quase completa de cor e turbidez, quando associada à condição de pH igual a 6,00, o que exigiu um ajuste desse último parâmetro através da adição de alcalinidade. Dosagens inferiores não produziram uma floculação eficaz. Concentrações acima de 300 mg L<sup>-1</sup> promoveram bons resultados em termos de remoção de cor e turbidez, no entanto, foi visto que o aumento da dosagem acarretou aumento da carga aromática verificado através do aumento da absorção próximo a 270 nm, o que pode estar associado ao teor de tanino, dosado em excesso e consequentemente disperso no meio, mesmo após a decantação do lodo. No que se refere às condições de agitação, nos testes envolvendo tanto o Efluente Bruto 01 como o Efluente Bruto 02 os tempos de 3 e 10 min se mostraram bastante adequados quando adotados na rotação rápida e na rotação lenta, respectivamente. E foi visto ainda que 30 min correspondeu a um tempo satisfatório para promover a sedimentação dos flocos formados durante o processo.

O ajuste de pH nos ensaios demandou um volume menor que 10 mL de solução básica, um volume inferior a 2% do total utilizado em cada béquer, o suficiente para permitir afirmar que tal operação não provocou a diluição do efluente e, portanto, não exerceu qualquer influência sobre os resultados.

Em termos quantitativos, utilizando o Tanfloc SG a remoção de cor aparente foi de 91,3% com o tratamento do primeiro efluente, e de 49,5% no caso do segundo. A Resolução nº 430 do CONAMA estabelece critérios de coloração para fins de descarte em termos de cor real (verdadeira), e não aparente. Contudo, como o objetivo desta pesquisa envolvia o estudo específico da técnica de coagulação/floculação, sem que as amostras de clarificado fossem submetidas a outro tipo de processo como filtração ou centrifugação, os resultados foram coletados em termos de cor

aparente, os quais, ainda assim, satisfizeram o requerido com valores ainda mais baixos do que prescreve a normativa. Quanto à turbidez, a aplicação da metodologia em condições ótimas rendeu uma redução de 96,1% e 92,4% para o Efluente 01 e o Efluente 02, respectivamente.

As amostras de efluente tratado demonstraram um aumento na condutividade elétrica do sistema, provavelmente consequência justamente da correção do pH do meio através da adição de solução ácida ou básica, o que aumentou a presença de íons livres. É importante destacar que não há nas legislações vigentes um valor limite para a condutividade elétrica no caso de lançamento de efluente em corpos hídricos. Entretanto, apresenta-se como sugestão de novos estudos analisar alternativas para redução da condutividade da mistura como um tratamento adicional. Sugere-se ainda, de forma adicional, estudar de modo específico os efeitos do aumento da concentração de tanino na condutividade elétrica do meio. Seguindo o mesmo comportamento da condutividade elétrica, o teor de sólidos dissolvidos aumentou consideravelmente após realizado o processo de tratamento.

Também foi observada uma alta taxa de remoção do teor de cloreto, na ordem de 70,0% para o Efluente 01 e 87,5% para o Efluente 02. Em virtude do desconhecimento de toda a complexidade que envolve a estrutura do Tanfloc SG, com todos os seus grupos funcionais, não é possível explicar de forma precisa esse mecanismo de remoção, que pode se dar até mesmo pela associação às aminas presentes (ver Figura 07). Uma análise de maior precisão na identificação de compostos pode ser sugerida como alternativa para esclarecer essa suspeita.

Um outro aspecto confirmado a partir dos resultados foi que o pH final das amostras de clarificado foi o mesmo do valor ajustado ao início de cada teste, comprovando que a aplicação do tanino não consumiu alcalinidade do meio.

## REFERÊNCIAS

ABER, S.; SALARI, D.; PARSA, M. R. **Employing the Taguchi Method to Obtain the Optimum Conditions of Coagulation-Flocculation Process in Tannery Wastewater Treatment.** Chemical Engineering Journal. v. 162, n. 1, p. 127-134, 2010.

AKSU, Z.; TEZER, S. **Biosorption of Reactive Dyes on the Green Alga *Chlorella Vulgaris*.** Process Biochemistry. v. 40, n. 3-4, p. 1347-1361, 2005.

AL-LAYLA, M. A.; MIDDLEBROOKS, E. J. **Effect of Temperature on Algal Removal from Wastewater Stabilization Ponds by Alum Coagulation.** Water Research. v. 9, n. 10, p. 873–879, 1975.

ALBUQUERQUE, L. F. **Aplicação da Água Residuária das Salinas no Tratamento de Efluente Têxtil.** 2009. 170 p. Tese (Doutorado) – Curso de Doutorado em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2009.

ALBUQUERQUE, L. F.; CHIAVONE-FILHO, O.; MELO, J. L. de S.; MARTINS, D. T.; MÉLO, R. P. F. **Estudo Comparativo entre o Reuso das Águas Residuárias das Salinas e o Cloreto de Magnésio para Remoção de Corante Indigo Blue.** In: III WORKSHOP GESTÃO E REUSO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA, 2007. Trabalho Técnico. Florianópolis.

ALMEIDA, Paulo Garcia de. **Corante Caramelo Utilizado em Refrigerantes: Caracterização Físico-Química e Compostos Voláteis.** 2011. 48 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Engenharia Mauá, Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2011.

ANDERSON, Sandie Lanclyn. **Flocculation of Clay Suspensions Using Synthetic Polymers.** 1986. 151 p. Thesis – Mastery of Science, Faculty of the College of Engineering and Technology, Ohio University, 1986.

ANGELIS, D. F.; CORSO, C. R. ; BIDOIA, E. D. ; MORAES, P. B. ; DOMINGOS, R. N. ; ROCHA FILHO, R. . **Eletrólise de Resíduos Poluidores. I-Efluente de Uma Indústria Liofilizadora de Condimentos.** Química Nova, São Paulo, SP, v. 21, n.1, p. 20-24, 1998.

APHA; AWWA; WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 23<sup>th</sup> Edition. Washington: American Public Health Association, 2017.

AWWA. **Water Treatment.** 4<sup>th</sup> Edition. Denver: American Water Works Association, 2010.

BASSETT, J.; DENNEY, R.C.; JEFFERY, G. H.; MENDHAM, J. V. **Análise Inorgânica Quantitativa.** 4<sup>a</sup> Edição. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1981. 672 p.

BOSCOLO, M.; SOBRINHO, L. G. A.; NETO, B. S. L.; FRANCO, D. W.; FERREIRA, M. M. C. **Spectrophotometric Determination of Caramel Content in Spirits Aged in Oak Casks.** Journal of AOAC International. v. 85, n. 3, 2002.

BRASÍLIA-DF. Agência Nacional de águas. Ministério do Meio Ambiente. **Água na Indústria - Uso e Coeficientes Técnicos.** 2017. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/noticias/estudo-da-agencia-nacional-de-aguas-aborda-uso-da-agua-no-setor-industrial/agua-na-industria-uso-e-coeficientes-tecnicos-versao-final.pdf/view>>. Acesso em: 15 de maio de 2018.

BRENNA, O. V.; CEPPI, E. L. M.; GIOVANELLI, G. **Antioxidant Capacity of Some Caramel-Containing Soft Drinks.** Food Chemistry, v. 115, p. 119-123, 2009.

CANEVAROLO, S. V. **Ciência dos Polímeros: Um Texto Básico para Tecnólogos e Engenheiros.** 1. Ed. São Paulo. Editora Artliber, 2010. 280 p.

CARVALHO, M. J. H. Uso de Coagulantes Naturais no Processo de Obtenção de Água Potável. 2008. 154 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá, 2008.

CASTRO-SILVA, M. A.; RÖRIG, L. R.; LAMB, L. H.; HECK, C. A.; DESUCATI, O. G. **Microrganismos Associados ao Tratamento de Águas de Abastecimento com Coagulante Orgânico Vegetal (Tanato Quaternário de Amônio) – I. Microrganismos Filamentosos.** Revista Estudos de Biologia, Itajaí-SC, v. 26, n. 54, p.21-27, mar. 2004.

CHAPPEL, C. I.; HOWELL, J. C. **Caramel Colours – A Historical Introduction.** Atlanta. Fd Chem. Toxic. v. 30, n. 5, p. 351-357, 1992.

CHOY, S. Y.; PRASAD, K. M.; WU, Y. T. Y.; RAGHUNANDAN, M. E.; RAMANAN, R. N. **Utilization of Plant-Based Natural Coagulants as Future Alternatives Towards Sustainable Water Clarification.** Journal of Environmental Sciences, v. 26, p. 2178-2189, 2014.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 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. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011.

COOPER, P. **Removing Colour from Dyehouse Wastewaters – a Critical Review of Technology Available.** Journal of the Society of Dyes and Colourist, v. 109, p. 97-100, 1993.

CPRH, Companhia Pernambucana do Meio Ambiente, **Roteiro Complementar de Licenciamento e Fiscalização: Tipologia Galvanoplastia.** Recife – PE (2001).

CRITES, R. W.; MIDDLEBROOKS, E. J.; BASTIAN, R. K.; REED, S. C. **Natural Wastewater Treatment Systems.** 2<sup>nd</sup> Edition. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2014. 508 p.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. Di B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 2ª Edição. São Carlos: RiMa, 2005. v. 1, 784 p.

DINGER, D. **Medidas de Pontos Isoelétricos sem o Uso de Analisador de Potencial Zeta**. Cerâmica Industrial, v. 11, n. 3, 2006.

DRINAN, J. E., SPELLMAN, F. R. **Water and Wastewater Treatment – A Guide for the Nonengineering Professional**. 2<sup>nd</sup> Ed. Boca Raton: CRC Press, 2013. 278 p.

DROSTE, R. L., GEHR, R. L. **Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment**. New York: John Wiley & Sons, 2019. 957 p.

EXLEY, C. **The Toxicity of Aluminium in Humans**. Morphologie, v. 100, p. 51-55, 2016.

FERRARI-LIMA, A. M.; MARQUES, R. G.; FERNANDES-MACHADO, N. R. C.; GIMENES, M. L. **Photodegradation of Petrol Station Wastewater after Coagulation/Flocculation with Tannin-based Coagulant**. Catalysis Today, v. 209, p. 79-83, 2013.

FERRARI, C. T. R. R. **Uso de Coagulantes Naturais para o Tratamento de Efluente da Indústria de Alimentos**. 2015. 64 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

FOZ DO IGUAÇU-PR. Agência Nacional de águas. Ministério do Meio Ambiente. **Falta de Água Potável no Mundo Aparece Relacionada a 80% das Mortes e Doenças**. 2019. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/falta-de-a-gua-pota-vel-no-mundo-aparece.2019-03-14.1777251782>>. Acesso em: 24 de julho de 2019.

FOINA, Beatriz Farrugia. **Conheça como funciona uma estação de tratamento de efluentes**. 2013. Beatriz Farrugia. Disponível em: <<http://www.revistatae.com.br/5801-noticias>>. Acesso em: 20 de junho de 2018.

GIORDANO, Gandhi. **Tratamento e Controle de Efluentes Industriais**. 2004. 81 p. Apostila (Efluentes Industriais). Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente – UERJ. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/49026099/Tratamento-e-Controle-de-Efluentes-Industriais>>. Acesso em: 25 de junho 2018.

GOMES, J. C. **Legislação de Alimentos e Bebidas**. Viçosa: Editora UFV, 2007. p.307-344.

GRAY, N. F. **Water Technology – An Introduction for Environmental Scientists and Engineers**. 2<sup>nd</sup> Edition. Dublin: Elsevier Science & Technology Books, 2005. 640 p.

HEIDERSCHEIDT, E.; LEIVISKÄ, T.; KLOVE, B. **Coagulation of Humic Waters for Diffused Pollution Control and the Influence of Coagulant Type on DOC Fractions Removed**. Journal of Environmental Management, 2016, v. 181, p. 883-893.

HEREDIA, J. B.; MARTIN, J. M.; MUNÓZ, M. C. G. **New Coagulant Agents from Tannin Extracts: Preliminary Optimisation Studies**. Chemical Engineering Journal, 2010, v. 162, n. 3, p. 1019-1025.

JECFA (JOINT EXPERT COMMITTEE ON FOOD ADDITIVES). **Caramel Colours**. Disponível em: <[http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/jecfa\\_additives/docs/monograph11/additive-102-m11.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/jecfa_additives/docs/monograph11/additive-102-m11.pdf)>. Acesso em 18 de novembro de 2019.

JERN, N. W. **Industrial Wastewater Treatment**. London: Imperial College Press, 2006.

JORGE, F. C.; BRITO, P.; PEPINO, L.; PORTUGAL, A.; GIL, H.; COSTA, R. P. **Aplicações para as Cascas de Árvore e para os Extratos Taninosos: Uma Revisão**. WOODTECH – Consultadoria e Intermediação Tecnológica para as Indústrias dos Produtos Florestais. v. 9, n. 2, p. 225-236, 2001. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/242418175\\_Aplicacoes\\_para\\_as\\_Cascas\\_de\\_Arvores\\_e\\_para\\_os\\_Extractos\\_Taninosos\\_Uma\\_Revisao](https://www.researchgate.net/publication/242418175_Aplicacoes_para_as_Cascas_de_Arvores_e_para_os_Extractos_Taninosos_Uma_Revisao)>. Acesso em 30 de janeiro de 2020.

KHATTRI, S. D.; SINGH, M. K. **Colour Removal from Synthetic Dye Wastewater Using a Bioadsorbent.** Water, Air and Soil Pollution. v. 120, n. 3-4, p. 283-294, 2000.

LOLITO, A. M.; SANCTI, M.; ROSSETTI, S; LOPEZ, A.; IACONI, C. Di. **On-site Treatment of Textile Yarn Dyeing Effluents Using an Integrated Biological-Chemical Oxidation Process.** Environmental Science and Technology, v. 7, n. 11, p. 623-632, 2014.

MACEDO, A. M.; ALVES, C. B.; SILVA, V. M.; OLIVERA, A. C. A. Impacto do Alumínio no Meio Ambiente e na Saúde. 2016. Disponível em: <[http://www.faculdadealfredonasser.edu.br/files/Pesquisar\\_5/21-11-2016-21.38.49.pdf](http://www.faculdadealfredonasser.edu.br/files/Pesquisar_5/21-11-2016-21.38.49.pdf)>. Acesso em: 15 de janeiro de 2020.

MANGRICH, A. S.; DOUMER, M. E.; MALLMANN, A. S. **Química verde no tratamento de águas: Uso de coagulante derivado de tanino de *Acacia Mearnsii*.** Revista Virtual de Química. v. 6 (1), p. 2-15, 2014.

METCALF, L.; EDDY. H. P. **Water Reuse – Issues, Technologies, and Applications.** 1<sup>st</sup> Edition. New York: McGraw-Hill Education, 2007. 1461 p.

NASCIMENTO, D. R. **Efeitos de Polímeros Aniônicos, de Aditivos Sólidos e do pH no Comportamento Reológico de Suspensões.** 2015. 101 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado em Engenharia Química, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2015.

OHASHI, Tadashi. **Utilização de Quitina e Mordente na Remoção do Corante Preto Remazol B por Adsorção.** 2012. 171 p. Tese (Doutorado) – Curso de Doutorado em Engenharia Química, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, 2012.

OLIVEIRA, L. R.; BARROS, M. A.; JÚNIOR, M. R. F. **Processo Contínuo de Adsorção de Alumínio em Coluna de Carvão Ativado**. X ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE ADSORÇÃO. 2014, Guarujá. Disponível em: <[http://www2.unifesp.br/home\\_diadema/eba2014/br/resumos/R0012-2.PDF](http://www2.unifesp.br/home_diadema/eba2014/br/resumos/R0012-2.PDF)>. Acesso em: 15 de janeiro de 2020.

ÖZACAR, M.; SENGIL, I. A. **The Use of Tannins from Turkish Acorns (Valonia) in Water Treatment as a Coagulant and Coagulant Aid**. Turkish J. Eng. Env. Sci., v. 26, p. 255-263, 2002.

PIANTÁ, Cyro Antônio Vianna; CASTRO, Carmen Maria Barros de. **Emprego de Coagulantes Orgânicos Naturais como Alternativa ao Uso do Sulfato de Alumínio no Tratamento de Água**. 2008. 78 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil da UFRS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2008. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/26026>>. Acesso em: 10 de maio 2018.

PONS, I.; GARRAULT, C.; JAUBERT, J. N.; MOREL, J.; FENYO, J. C. **Analysis of Aromatic Caramel**. Le Havre: Food Chemistry, v. 39, p. 311-320. 1991.

RAMJEAWON, T. **Cleaner Production in Mauritian Cane-Sugar Factories**. Journal of Cleaner Production, v. 8, p. 503-510. 2000.

RIBEIRO, A. I. C. **Geologia e Saúde – Uma Abordagem Descritiva de um Caso de Contaminação por Alumínio**. 2016. 60 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Biologia e Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território/Unidade de Ensino das Ciências, Faculdade de Ciências, Porto, 2016.

RITCHER, C. A., AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de água – Tecnologia Atualizada**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1991. 332 p.

RONDEAU, V.; JACQMIN-GADDA, H.; COMMENGES, D.; HELMER, C.; DARTIGUES, J. **F. Aluminium and Silica in Drinking Water and the Risk of Alzheimer's Disease or Cognitive Decline: Findings from 15-Year Follow-up of the PAQUID Cohort.** American Journal of Epidemiology, v. 169, p. 489, 2008.

SANTOS, C. **Encapsulamento de Taninos de *Acacia Mearnsii* por Métodos Sol-Gel.** 2014. 109 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

SANTOS, J. A. C. **Estudo da Influência do Cloreto de Sódio na Remoção de Matéria Orgânica, na Determinação da DQO e na Microbiota em um Sistema de Tratamento Aeróbio por Lodos Ativado.** 2010. 97 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

SINCERO, A. P.; SINCERO, G. A. **Physical-Chemical Treatment of Water and Wastewater.** Boca Raton: IWA Publishing, 2003. 856 p.

SIQUEIRA, M. E. S. **Estudo da utilização de coagulantes naturais e químicos em uma estação de tratamento de água piloto (ETA-Piloto).** 2009. 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

SOUZA, R. P.; GIRARDI, F.; SANTANA, V. S.; FERNANDES-MACHADO, R. C.; GIMENES, M. L. **Vinasse Treatment Using a Vegetable-Tannin Coagulant and Photocatalysis.** Acta Scientiarum, v. 35, n. 1, p. 89-95. 2013.

SPINOSA, W. A. **Isolamento, seleção, identificação e parâmetros cinéticos de bactérias acéticas provenientes de indústrias de vinagre.** 2002. 243 p. Tese (Doutorado) – Curso de Doutorado em Ciência de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2002.

TAMRIN, K. F.; ZHRIM, A. Y. **Determination of Optimum Polymeric Coagulant in Palm Oil Mill Effluent Coagulation Using Multiple-Objective Optimisation on the Basis of Ratio Analysis (MOORA)**. Environ Sci Pollut Res. v. 24, p. 15863-15869, 2016.

TARPANI, R. R. Z. **Remoção de Alumínio Monomérico de Água para Abastecimento através da Ação da Carboximetilcelulose e da Quitina**. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

VAZ, L. G. L.; KLEN, M. R. F.; VEIT, M. T.; SILVA, E. A.; BARBIERO, T. A.; BERGAMASCO, R. **Avaliação da Eficiência de Diferentes Agentes Coagulantes na Remoção de Cor e Turbidez em Efluente de Galvanoplastia**. Eclética Química, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 45-54, 2010.

VIGORET, J. **Le Potential Zeta et son Application dans le Traitement de l'eau Potable**. T.S.M. L'eau, p. 91-95, 1980.

VIGGIANO, J. A. S. **Spectrophotometric Analysis of Beer and Wort**. New York: Chester F Carlson Center for Imaging Science, 2006.

VOLLMUTH, T. A. **Caramel Color Safety – An Update**. Food and Chemical Toxicology, v. 111, p. 578-596, 2018.

WASHINGTON-DC. Food and Drug Administration. **Caramel 21 CFR 73.85**. 2016. Disponível em: <<https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=73.85>>. Acesso em: 20 de dezembro de 2019.

YIN, C. Y. **Emerging Usage of Plant-Based Coagulants for Water and Wastewater Treatment**. Process Biochemistry, v. 45, p. 1437-1444, 2010.

ZHAO, X.; XU, Z.; WANG, S. **Effect Factors of Soy Sauce Wastewater Treatment by Allure-type Wastewater Treatment Equipment**. Energy Procedia, v. 16, p. 65-69, 2012.

ZENKEVICH, I. G.; PIMENOV, A. I.; SOKOLOVA, L. I.; MAKAROV V. G. **Caramel Standardization with Respect to 5-Hydroxymethylfurfurol**. Pharmaceutical Chemistry Journal, v. 36, n. 1, p. 50-53, 2002.

ZETA-METER INC. Disponível em: < <http://www.zeta-meter.com/contact.html> >. Acesso em: 25 de abril de 2019.

ZILIOLI, E. **Composição Química e Propriedades Funcionais no Processamento de Vinagres**. 2011. 84 p. Tese (Doutorado) – Curso de Doutorado em Ciência de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2011.

## ANEXO – FICHA COMERCIAL DO TANFLOC SG

**Figura 28:** Ficha comercial do Tanfloc SG.



### TANFLOC SG



Certificado por NSF International  
ANSI/NSF Standard 60  
Dosagem máxima para águas de abastecimento: 1,5 mg/L

#### 1. PRODUTO

**TANFLOC SG** é um polímero orgânico-catiônico de baixo peso molecular, de origem essencialmente vegetal e que atua como:

- Coagulante
- Flocculante
- Auxiliar de coagulação no tratamento de águas em geral

**TANFLOC SG** é capaz de atuar em um amplo espectro de aplicações, em conformidade com testes preliminares (jar-test) e orientações da equipe de assistência técnica e desenvolvimento de produto da Tanac SA.

#### 2. APRESENTAÇÃO

**TANFLOC SG LÍQUIDO** é acondicionado em bombonas de polietileno com 50 kg e tambores de 200 kg – peso líquido, containers IBC de 1.000 kg, podendo ser fornecido na forma a granel.

**TANFLOC SG PÓ** é fornecido em sacos de 25 kg, podendo ser na forma paletizada se requerida.

#### 3. ANÁLISE TÍPICA

##### TANFLOC SG

Aspecto físico	LÍQUIDO*	PÓ FINO HIGROSCÓPICO
Umidade ao embalar (%)	-	4,5 – 6,5
Viscosidade (s, 25 °C Copo Ford n°4)	Máx. 50	Não Aplicável
Sólidos Totais (%)	30 a 34	-
pH (xarope)	1,3 - 2,3	-
pH (sol. aq. 10% p/v)	-	1,8 – 2,7

\*Solvente: exclusivamente água.

TANAC S. A. - Rua T. Weibull 199-Montenegro-RS-Brasil-95780-000 - Fone: 051 36324055 - Fax: 051 36322499/2863  
E-mail: tanac@tanac.com.br

Fonte: TANAC.