

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**RUBIANE BORTOLATTO**

**AVALIAÇÃO DO USO DE COAGULANTES NATURAIS NO  
POLIMENTO DE EFLUENTE DE ABATEDOURO E FRIGORÍFICO DE  
SUÍNOS**

Dissertação

MEDIANEIRA  
2017

RUBIANE BORTOLATTO

**AVALIAÇÃO DO USO DE COAGULANTES NATURAIS NO  
POLIMENTO DE EFLUENTE DE ABATEDOURO E FRIGORÍFICO DE  
SUÍNOS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de “Mestre em Tecnologia de Alimentos” – Área de concentração: Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Aziza Kamal Genena

Co-orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daiane Cristina Lenhard

MEDIANEIRA  
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

B739a

Bortolatto, Rubiane

Avaliação do uso de coagulantes naturais no polimento de efluentes de abatedouro e frigorífico de suínos / Rubiane Bortolatto – 2017.  
61 f.: il.; 30 cm.

Orientadora: Aziza Kamal Genena

Coorientadora: Daiane Cristina Lenhard

Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos. Medianeira, 2017.

Inclui bibliografias.

1. Taninos. 2. Águas residuais – Purificação - Floculação 3. Alimentos – Dissertações. I. Genena, Aziza Kamal, orient. II. Lenhard, Daiane Cristina, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos. IV. Título.

CDD: 664

Biblioteca Câmpus Medianeira

Marci Lucia Nicodem Fischborn CRB 9/1219



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **AVALIAÇÃO DO USO DE COAGULANTES NATURAIS NO POLIMENTO DE EFLUENTE DE ABATEDOURO E FRIGORÍFICO DE SUÍNOS**

Por

**RUBIANE BORTOLATTO**

Essa dissertação foi apresentada às nove horas, do dia dois de junho de dois mil e dezessete, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos, Linha de Pesquisa de Processos Tecnológicos na Indústria de Alimentos, no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos - PPGTA, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

---

Profa. Dra. Aziza Kamal Genena (Orientadora - PPGTA)

---

Profa. Dra. Juliana Bortoli Rodrigues Mees (Membro interno - UTFPR/MD)

---

Profa. Dra. Márcia Teresinha Veit (Membro externo - Unioeste - Toledo)

\* A via original com as assinaturas encontra-se na secretaria do programa.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu Senhor, muito obrigada por todas as coisas, não há o que não deva agradecer. Mas agradeço principalmente pela companhia tão preciosa, pelos Seus cuidados e pelo carinho que tem comigo, mesmo sem eu merecer.

Pai e mãe, Rogério e Beatriz, muito obrigada pelo apoio em todas as direções, e que fazem valer a frase “Como pai e mãe, só pai e mãe”.

Aziza, muito obrigada por se dispor a me orientar, dedicando um tempo de sua vida neste trabalho. Agradeço por ter me dado autonomia no desenvolvimento da pesquisa, me permitindo aprender grandemente. Também agradeço pelo esforço em levantar materiais e reagentes, e em tempo hábil, para o bom andamento do trabalho.

Queridas Daiane Cristina Lenhard, Juliana Bortoli Mees e Eliane Colla, obrigada pelas contribuições e pela solicitude, o que faz de todas coorientadoras neste trabalho.

Fábio, esposo, muito obrigada pelo companheirismo, incentivo e pelas palavras acertadas em todas as ocasiões.

Crislaine, obrigada por se dispor a me passar (e repassar) todas as informações pertinentes ao trabalho.

Ao meu irmão, Reuvian, à Marci, Daneysa e Rosana, obrigada também a vocês por toda a ajuda e também pela companhia.

À Capes, obrigada pelo apoio financeiro durante o programa.

À empresa Tanac SA, obrigada por disponibilizar o seu produto para a pesquisa.

## RESUMO

BORTOLATTO, Rubiane. Avaliação do Uso de Coagulantes Naturais no Polimento de Efluente de Abatedouro e Frigorífico de Suínos. 2017. 61 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2017.

A coagulação, um processo importante no tratamento convencional de efluentes, promove a retirada de partículas leves demais para sedimentarem por ação da gravidade (coloides). A sedimentação destas partículas torna-se possível com a adição de agentes coagulantes, geralmente sais metálicos. Entretanto, o grande inconveniente no uso destes sais são os resíduos metálicos que permanecem no lodo, e que podem contaminar o solo. Agentes coagulantes à base de polieletrólitos orgânicos têm se mostrado interessantes pela sua capacidade de retirar matéria orgânica de efluentes. Este trabalho objetivou testar a eficiência de dois polieletrólitos naturais, quitosana e Tanfloc<sup>®</sup>, como coagulantes, para redução de DQO, turbidez e cor aparente de efluente advindo de um abatedouro e frigorífico de suínos, e de compará-la com a eficiência do cloreto férrico. A sequência de ensaios, conduzidos em *Jar Test*, foi realizada segundo planejamento experimental pré-definido para cada um dos coagulantes, com planejamento fracionado seguido de DCCR. A quitosana promoveu aumento considerável da DQO, ao invés de sua redução, mostrando-se ineficaz na redução desta resposta. Entretanto, como auxiliar de coagulação a quitosana favoreceu a formação de flocos maiores. O Tanfloc<sup>®</sup> proporcionou formação de flocos grandes em pH básico (7,75) e flocos pequenos em pH ácido (5,25). Em condição ótima e em pH básico, ainda para o Tanfloc<sup>®</sup>, a redução máxima foi de 86% para turbidez e 34% para cor aparente. Em pH ácido, a melhor redução foi de 96% para turbidez e 78% para cor aparente. A redução conseguida para DQO foi de cerca de 50%, independentemente do pH aplicado. Estes resultados foram satisfatórios e condizentes com o esperado para o coagulante Tanfloc<sup>®</sup>. Quanto ao cloreto férrico, este apresentou, de forma geral, um desempenho inferior ao Tanfloc<sup>®</sup>. Os resultados mostram que o Tanfloc<sup>®</sup> foi eficaz no papel de coagulante primário, substituindo, com vantagens, o cloreto férrico no tratamento de coagulação, floculação e sedimentação do efluente de estudo.

**Palavras-chave:** Taninos. Quitosana. Cloreto Férrico. Delineamento Fatorial.

## ABSTRACT

BORTOLATTO, Rubiane. Evaluation of natural coagulants in the polishing treatment of swine slaughterhouse wastewater. 2017. 61 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2017.

Coagulation, an important process in the conventional treatment of effluents, promotes the removal of particles too light to sediment by gravity action (colloids). The settling of these particles becomes possible with the addition of coagulating agents, generally metal salts. However, the major drawback in the use of such salts are metallic residues remaining in the sludge, which can contaminate soil. Coagulant agents based on organic polyelectrolytes have been interesting for their ability to remove organic matter from effluents. This study aimed to test the efficiency of two natural polyelectrolytes, chitosan and Tanfloc<sup>®</sup>, As coagulants, for the reduction of COD, turbidity and apparent colour of effluent coming from a pig slaughterhouse, and to compare it with the efficiency of ferric chloride. The sequence of tests, conducted in Jar Test, was performed according to a predefined experimental design for each of the coagulants, with fractional planning followed by DCCR. Chitosan promoted a considerable increase in COD, rather than its reduction, proving ineffective in reducing this response. However, as a coagulation aid, chitosan favored the formation of larger flakes. Tanfloc<sup>®</sup> provided formation of large flakes at basic pH (7.75) and small flakes at acid pH (5.25). In optimum condition and at basic pH, a maximum reduction of 86% for turbidity and 34% for apparent colour was obtained. At acid pH, the reduction achieved for the responses was 96% for turbidity and 78% for apparent colour. The COD reduction was about 50% regardless of the pH. These results were satisfactory and consistent with that expected for the coagulant. Regarding ferric chloride, it generally presented a lower performance than Tanfloc<sup>®</sup>. The results showed that Tanfloc<sup>®</sup> performed very well the role of primary coagulant, favorably replacing ferric chloride in the treatment of coagulation, flocculation and sedimentation of the study effluent.

**Keywords:** Tannins. Chitosan. Ferric Chloride. Factorial Design.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Estrutura polimérica do Tanfloc®	22
Figura 3.2 - Estrutura química da quitina	23
Figura 3.3 - Estrutura química da quitosana	24
Figura 4.1–Esquema simplificado do ponto de coleta do efluente de estudo	29
Figura 4.2- Fluxograma contendo as etapas do experimento de coagulação, flocculação e sedimentação	30
Figura 5.1 - Superfícies de resposta (à esquerda) e curvas de contorno (à direita) para (a) turbidez e (b) cor aparente do efluente tratado com Tanfloc® em condição ótima	38
Figura 5.2– Condição ótima global obtida pela uso da função desejabilidade aplicada aos modelos preditivos de turbidez e cor aparente – coagulante Tanfloc®	39
Figura 5.3 – Dados de DQO, turbidez e cor aparente em função da concentração de coagulante cloreto férrico	45
Figura 5.4- Aspecto do efluente tratado com Tanfloc® em condição ótima, em diferentes pHs. À esquerda, o efluente de estudo para comparação	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Caracterização do efluente de estudo coletado no abatedouro e frigorífico de suínos -----	29
Tabela 5.1– Variáveis e faixas estudadas no planejamento fracionado 2 <sup>(7-3)</sup> e seus efeitos sobre as respostas DQO, turbidez e cor aparente - Tanfloc <sup>®</sup> -----	34
Tabela 5.2– Níveis reais e codificados das variáveis testadas no DCCR 2 <sup>2</sup> - Tanfloc <sup>®</sup> -----	36
Tabela 5.3– Coeficientes de regressão para as respostas DQO, turbidez e cor aparente segundo DCCR 2 <sup>2</sup> - Tanfloc <sup>®</sup> -----	36
Tabela 5.4– Análises de variância dos modelos matemáticos gerados pelo DCCR 2 <sup>2</sup> – Tanfloc <sup>®</sup> -----	37
Tabela 5.5 – Condições ótimas obtidas para a realização de ensaios de tratamento do efluente com Tanfloc <sup>®</sup> -----	40
Tabela 5.6 - Tentativas de solubilização da quitosana em meios ácidos -----	41
Tabela 5.7– Variáveis e faixas estudadas no planejamento fracionado 2 <sup>(7-3)</sup> e seu efeito sobre as respostas DQO, turbidez e cor aparente - quitosana -----	42
Tabela 5.8– Tratamento do efluente na ausência (amostra-controle) e presença de quitosana, com variação do pH -----	43
Tabela 5.9– Variáveis e faixas estudadas no planejamento fracionado 2 <sup>(7-3)</sup> e seu efeito sobre as respostas DQO, turbidez e cor aparente- cloreto férrico -----	44
Tabela 5.10– Dados de DQO, turbidez e cor aparente em função da concentração de coagulante cloreto férrico-----	46
Tabela 5.11 – Variáveis independentes e seus melhores valores definidos para os ensaios seguintes de coagulação - tratamento com cloreto férrico-----	46
Tabela 5.12– Ensaios para definição da concentração de auxiliar de coagulação – Tanfloc <sup>®</sup> -----	47
Tabela 5.13– Ensaios para definição da concentração de auxiliar de coagulação - quitosana -----	47
Tabela 5.14 - Comparação de desempenho entre tratamentos realizados com cloreto férrico como coagulante, e com e sem auxiliares de coagulação-----	48
Tabela 5.15– Demais análises realizadas sobre o efluente tratado com cloreto férrico e com Tanfloc <sup>®</sup> em condições ótimas e em diferentes pHs -----	48
Tabela 5.16– Relação COT/DQO para o efluente tratado com Tanfloc <sup>®</sup> e também com cloreto férrico, ambos em condição ótima-----	50

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>12</b>
2.1	<b>OBJETIVO GERAL</b>	<b>12</b>
2.2	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>13</b>
3.1	<b>EFLUENTES DE ABATEDOUROS E FRIGORÍFICOS DE SUÍNOS</b>	<b>13</b>
3.2	<b>PARÂMETROS DE QUALIDADE DE EFLUENTES</b>	<b>15</b>
	Turbidez	15
	Cor Aparente e Cor Verdadeira	16
	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	16
	Demanda Química de Oxigênio (DQO)	17
	Carbono orgânico total (COT)	18
	Nutrientes	18
3.3	<b>PROCESSO DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO</b>	<b>19</b>
3.4	<b>COAGULANTES E AUXILIARES DE COAGULAÇÃO</b>	<b>20</b>
	Cloreto Férrico	21
	Taninos (Tanfloc®)	21
	Quitosana	23
3.5	<b>PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL – UMA FERRAMENTA ESTATÍSTICA</b>	<b>25</b>
3.5.1	Função desejabilidade	26
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>28</b>
4.1	<b>REAGENTES</b>	<b>28</b>
4.2	<b>LOCAL DE COLETA, AMOSTRAGEM E CARACTERIZAÇÃO</b>	<b>28</b>
4.3	<b>ANÁLISES</b>	<b>29</b>
4.4	<b>ENSAIOS DE COAGULAÇÃO, FLOCULAÇÃO E SEDIMENTAÇÃO</b>	<b>30</b>
4.5	<b>PLANEJAMENTOS EXPERIMENTAIS</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>34</b>
5.1	<b>TANFLOC®</b>	<b>34</b>
5.2	<b>QUITOSANA</b>	<b>40</b>
5.3	<b>CLORETO FÉRRICO</b>	<b>44</b>
5.4	<b>AUXILIARES DE COAGULAÇÃO</b>	<b>46</b>

<b>5.5 ANÁLISES COMPLEMENTARES NA CONDIÇÃO ÓTIMA PARA TANFLOC® E CLORETO FÉRRICO</b>	<b>48</b>
<b>6 CONCLUSÕES</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>53</b>
<b>ANEXO A</b>	<b>59</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os efluentes oriundos de esgotos domésticos e industriais podem carregar consigo uma enorme gama de materiais poluentes, variando sua composição e nível de poluição em função de sua origem (NUNES, 2001; CAVALCANTI, 2012). Por serem os corpos hídricos o destino final destes efluentes, torna-se fundamental submetê-los a tratamentos adequados de modo a eliminar ou reduzir a níveis aceitáveis a carga poluente, segundo preconizar a legislação local.

A matéria orgânica é um dos poluentes mais comumente encontrados em efluentes, e é considerada o principal poluente dos corpos d'água, pois demanda consumo de oxigênio para sua oxidação (NUNES, 2001). Tipicamente, em plantas de tratamento de efluentes, usam-se sais metálicos, nas operações de coagulação e floculação, com o intuito de remover a matéria orgânica que não seja sedimentável por simples ação da gravidade (coloides e partículas orgânicas dissolvidas). São comumente usados o sulfato de alumínio, o sulfato e cloreto férricos, sulfato ferroso, entre outros. Tais sais são excelentes agentes coagulantes, o grande inconveniente destes produtos é o resíduo metálico que permanece no lodo gerado durante o tratamento (MANGRICH et al., 2014).

Os resíduos metálicos são não biodegradáveis, o que dificulta a disposição no solo do lodo gerado durante o processo. Há também estudos que comprovam a neurotoxicidade do alumínio e seus efeitos adversos em plantas, animais e humanos (KAWAHARA; KATO-NEGISHI, 2011). Outros estudos sugerem a relação entre o consumo de alumínio e/ou outros metais com o desenvolvimento do mal de Alzheimer em humanos (RONDEAU et al., 2009; KAWAHARA; KATO-NEGISHI, 2011).

Em vista disso, muitos estudos têm sido realizados nas últimas décadas, em todo o mundo, com o intuito de investigar o uso de polímeros naturais em substituição aos compostos inorgânicos nas operações de coagulação e floculação. Coagulantes à base de polímeros naturais apresentam vantagens como: lodo gerado totalmente biodegradável, não toxicidade ao organismo humano (GRAHAM et al., 2008), não consomem alcalinidade do meio e, por isso, não há necessidade

de correção desta para o tratamento (CORAL; BERGAMASCO; BASSETTI, 2009; VIJAYARAGHAVAN et al., 2011).

Nos últimos trinta anos, o uso dos polímeros orgânicos como coagulantes e também como auxiliares de coagulação tem se expandido (RICHTER, 2009). Neste trabalho, objetivou-se estudar a aplicação de polímeros orgânicos de fontes naturais como coagulantes primários, com o intuito de substituir inteiramente o uso de sais químicos no processo de coagulação e floculação na etapa de tratamento final do efluente de um abatedouro e frigorífico de suínos.

O efluente, objeto deste estudo, foi coletado após passar pelo tratamento biológico e, em laboratório, foi submetido ao processo de coagulação, floculação e sedimentação para remoção de grande parte dos poluentes restantes. Dois polímeros orgânicos e naturais foram testados como coagulantes - a quitosana e o Tanfloc<sup>®</sup>, este último é um produto comercial à base de taninos, e também foi testado o cloreto férrico para fins de comparação de desempenho. Com os resultados experimentais e fazendo uso de planejamento experimental, procurou-se maximizar a redução das respostas analisadas: DQO (demanda química de oxigênio), turbidez e cor aparente.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Investigar o emprego de polímeros orgânicos naturais, a quitosana e o tanino (Tanfloc SG<sup>®</sup>), como agentes coagulantes em substituição ao cloreto férrico no tratamento final de efluente proveniente de um abatedouro e frigorífico de suínos.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Definir as variáveis de estudo – velocidade e tempo de mistura rápida, velocidade e tempo de mistura lenta, concentração de coagulante, pH e tempo de sedimentação - e suas faixas operacionais a serem aplicadas nos planejamentos experimentais para os ensaios de coagulação e floculação usando Tanfloc<sup>®</sup>, quitosana e cloreto férrico como agentes coagulantes;
- II. Submeter o efluente ao tratamento segundo os planejamentos experimentais, efetuando análise das respostas DQO, turbidez e cor aparente;
- III. Realizar tratamento estatístico dos dados experimentais para definição da condição ótima de tratamento do efluente para cada coagulante;
- IV. Avaliar a eficiência de cada um dos três coagulantes (quitosana, tanino e cloreto férrico) na redução das respostas, nas condições ótimas, e comparar o desempenho dos coagulantes entre si na remoção dos poluentes no efluente investigado.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 EFLUENTES DE ABATEDOUROS E FRIGORÍFICOS DE SUÍNOS

O Brasil é o 4º maior produtor mundial de carne suína, ficando atrás de China (1º), União Europeia (2º) e Estados Unidos (3º). Também é o 4º exportador mundial deste produto, posicionado entre as cadeias produtivas mais avançadas do mundo (ABPA, 2016a). Em 2015, a produção de carne suína no Brasil foi de 3.643 mil toneladas. O Estado do Paraná foi o segundo maior abatedor, tendo sido responsável por 21,47% dos abates com inspeção federal (SIF) (ABPA, 2016b).

Tanto o abate quanto o processamento de carne são realizados em abatedouros e frigoríficos, cujas atividades consistem no abate dos animais, com separação das carnes e vísceras incluindo a industrialização de ambas, e produção de derivados e subprodutos (CETESB, 2006).

Diante de tal volume de produção de carne suína, espera-se também grande volume de efluente gerado ao longo de toda a cadeia produtiva. Para o abate mais industrialização da carne estima-se um consumo de 500 – 1.500 litros/cabeça de suíno (CETESB, 2006).

Cerca de 80 a 95% da água consumida em abatedouros e frigoríficos, quer sejam suínos, bovinos ou de aves, é convertida em efluente líquido. Estes efluentes líquidos são caracterizados principalmente por (SCARASSATI et al., 2003; CETESB, 2006):

- Alta carga orgânica, por causa da presença de sangue, gordura, esterco, conteúdo estomacal não digerido e conteúdo intestinal;
- Alto conteúdo de gordura;
- Flutuações de pH por causa do uso de produtos de limpeza ácidos e básicos;
- Altos conteúdos de nitrogênio, fósforo e sal;
- Oscilações de temperatura, por causa do uso de águas quentes e frias.

Assim sendo, tais despejos líquidos possuem altos valores de  $DBO_5$  (demanda bioquímica de oxigênio) e DQO. Também são encontrados: sangue, fragmentos de carne, de gorduras e de vísceras, todos altamente putrescíveis e que entram em decomposição poucas horas depois da sua geração.

O sangue tem a DQO mais alta de todos os efluentes líquidos gerados no processamento de carnes. A DQO do sangue líquido bruto é de  $400.000 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $\text{DBO}_5$  de  $200.000 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $30.000 \text{ mg.L}^{-1}$  de nitrogênio (CETESB, 2006). Por essa razão, nos abatedouros é comum haver a separação dos efluentes líquidos em duas linhas: a linha verde, que contém os líquidos gerados em áreas sem presença de sangue, e a linha vermelha, com os efluentes que contêm sangue (de várias áreas do abate em diante). Esta separação facilita o tratamento primário, permitindo remover mais e melhor os resíduos em suspensão.

Segundo Philippi Jr (2005), as etapas principais de tratamento às quais são submetidos os efluentes industriais, de um modo geral, são quatro, podendo ser suprimida alguma etapa, dependendo da necessidade:

- Tratamento preliminar - objetiva a remoção dos sólidos grosseiros, como materiais flutuantes, óleos e graxas, restos animais, ou qualquer outro poluente que possa causar problemas operacionais na planta. Ex.: gradeamento, peneiramento e desarenação;
- Tratamento primário - visa remover parte dos sólidos sedimentáveis (por ação da gravidade) e parte da matéria orgânica. Ex.: sedimentação e flotores (CETESB, 2006);
- Tratamento secundário – ou biológico, nele predominam mecanismos biológicos, o objetivo é principalmente a remoção da matéria orgânica biodegradável contida nos sólidos dissolvidos, ou finamente particulados, e, eventualmente, de nutrientes (nitrogênio e fósforo) através de processos biológicos, aeróbios (oxidação) ou anaeróbios, seguidos da sedimentação final (ou secundária). Dependendo do sistema de tratamento, esta etapa também pode promover a redução de patógenos. Ex.: lodo ativado, lagoas de estabilização, filtro biológico, reatores anaeróbios, etc;
- Tratamento terciário – ou avançado, objetiva remover poluentes específicos (tóxicos ou não biodegradáveis) ou ainda, a remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário, como fósforo e nitrogênio (VON SPERLING, 1996). Nesta etapa de tratamento podem ser encontradas operações de troca iônica, osmose reversa, ultrafiltração, adsorção em leito de carvão ativado, entre outros.

O tratamento preliminar faz uso de operações físicas para separação dos sólidos grosseiros, é apenas uma etapa inicial do tratamento. O tratamento primário também adota mecanismos físico-químicos de separação de poluentes, remove de

60 a 70% de sólidos sedimentáveis e 30 a 40% de DBO, e, assim como o tratamento preliminar, não fornece um efluente purificado o suficiente para atender padrões de lançamento em corpo receptor. O tratamento biológico remove de 60 a 99% da DBO, faz uso de mecanismos biológicos e usualmente deixa o efluente purificado o suficiente para cumprir as exigências para seu lançamento em corpos hídricos (VON SPERLING, 1996).

### 3.2 PARÂMETROS DE QUALIDADE DE EFLUENTES

Os efluentes industriais são extremamente diversos, e adquirem características próprias em função do processo industrial empregado. A avaliação da qualidade do efluente é feita pela determinação de parâmetros físicos como matéria sólida, temperatura, odor, cor e turbidez, e parâmetros químicos como DQO, DBO, COT (carbono orgânico total) e presença de nutrientes (nitrogênio e fósforo), entre outros parâmetros, inclusive biológicos (JORDÃO; PESSÔA, 1995).

#### Turbidez

A turbidez é uma propriedade ótica da água e que causa a dispersão e absorção de luz incidente sobre a amostra, ao invés da sua transmissão em linha reta (RICHTER, 2009). Esta propriedade se deve à presença de partículas em suspensão e em estado coloidal, as quais podem abranger uma ampla faixa de tamanhos (DI BERNARDO; DI BERNARDO; CENTURIONE FILHO, 2002).

A turbidez pode ser interpretada como uma medida indireta da quantidade de sólidos em suspensão, e é medida por meio de aparelhos denominados nefelômetros, cuja medição da luz dispersa através da amostra é feita a 90° da luz incidente. A escala de medição é calibrada com padrões preparados com uma solução de formazina, e permitem medir valores tão baixos quanto 0,1 UNT (unidade nefelométrica de turbidez), com precisão de  $\pm 10\%$  (RICHTER, 2009).

## Cor Aparente e Cor Verdadeira

A cor da água é decorrente da sua capacidade em absorver certas radiações do espectro visível e ocorre, geralmente, devido à presença de substâncias de origem mineral e/ou orgânica dissolvidas, no estado coloidal ou em suspensão (RICHTER, 2009). Como a água pura é ausente de cor, este parâmetro remete à presença de impurezas/poluentes, o que torna a cor um indicador do grau de poluição das águas. Por exemplo, águas de cor elevada, geralmente, apresentam uma alta demanda química ou bioquímica de oxigênio.

A cor é dita verdadeira quando é medida do sobrenadante após centrifugação por 30 minutos, com rotação de 3.000 rpm, ou da água filtrada em membrana de 0,45  $\mu\text{m}$ . Se a cor for medida sem a aplicação de um destes dois tratamentos, ela é dita cor aparente, pois há a interferência de partículas coloidais e suspensas na sua medição (DI BERNARDO; DI BERNARDO; CENTURIONE FILHO, 2002).

A unidade de cor (UC) é definida como a cor produzida por 1,0 mg de platina (como cloroplatinato de cobalto,  $\text{K}_2\text{PtCl}_6$ ) e 0,5 mg de cloreto de cobalto ( $\text{CoCl}_2$ ) dissolvidos em 1 L de água. A unidade de medida fica, assim, expressa em  $\text{mg.L}^{-1}$  de Pt-Co, ou graus Hazen,  $\text{H}^\circ$  (RICHTER, 2009).

## Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A demanda bioquímica de oxigênio é definida como a quantidade de oxigênio dissolvido necessário aos microrganismos para promover estabilização da matéria orgânica biodegradável sob condições aeróbias (NUVOLARI, 2007). É um indicativo indireto da quantidade de matéria orgânica biodegradável presente na água e, por convenção, a DBO é medida a 20°C e após 5 dias de incubação.

O teste da  $\text{DBO}_5^{20}$  surgiu na Inglaterra e, segundo se diz, 20°C seria a temperatura média dos rios ingleses e cinco dias, o tempo médio que a maioria dos rios ingleses demorava a ir da nascente até o mar. O teste, atualmente, pode ser feito segundo o método tradicional, onde o efluente é enriquecido com nutrientes e

água ricamente oxigenada, e deixado em garrafas âmbar a 20°C por 5 dias (APHA; AWWA; WEF, 2012), ou ainda segundo o método respirométrico ou manométrico, que consiste em usar um aparelho de DBO que mede a queda de pressão no interior da garrafa por causa do consumo de O<sub>2</sub> pelas bactérias. O gás carbônico gerado na depuração da amostra reage com o hidróxido de potássio presente no topo da garrafa, e deste modo não interfere no diferencial de pressão.

### Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A demanda química de oxigênio é definida como a quantidade de oxigênio dissolvido necessário para ocorrer a oxidação, por via química, da matéria orgânica presente numa água. Assim como a DBO, a DQO também é uma medida indireta do teor de matéria orgânica.

A determinação da DQO pelo método colorimétrico de refluxo fechado, segundo é descrito no *Standard Methods* (APHA; AWWA; WEF, 2012), baseia-se na oxidação dos compostos orgânicos biodegradáveis e não biodegradáveis. Este método aplica-se a amostras contendo matéria oxidável correspondente ao consumo de O<sub>2</sub> na concentração entre 90 e 1000 mg.L<sup>-1</sup> de O<sub>2</sub>. A absorvância é medida no comprimento de onda de 600 nm, e a sua interpretação é feita por meio de uma curva de calibração gerada de padrões conhecidos de biftalato de potássio.

Devido ao fato de a DQO também oxidar compostos orgânicos não biodegradáveis e, em certos casos, compostos inorgânicos, o valor da DQO será sempre maior que o da DBO para uma mesma amostra (NUVOLARI, 2007). A grande vantagem da DQO em relação à DBO é o tempo de execução da análise, a primeira demora cerca de 3 horas apenas, enquanto a segunda, 5 dias. Para um dado efluente, é possível a obtenção de uma série de dados com os quais se podem estabelecer correlações entre DBO e DQO, possibilitando estimar a DBO a partir da DQO. Algumas conclusões são extraídas desta relação, segundo cita Von Sperling (1996):

- Relação DQO/DBO<sub>5</sub> baixa:
  - A fração biodegradável é elevada;

- Provável indicação para tratamento biológico.
- Relação DQO/DBO<sub>5</sub> elevada:
  - A fração inerte (não biodegradável) é elevada;
  - Se a fração não biodegradável for importante em termos de poluição do corpo receptor: provável indicação para tratamento físico-químico.

A relação DQO/DBO<sub>5</sub> varia à medida que o efluente passa pelas unidades na estação de tratamento. A tendência é que a relação aumente por causa do consumo da matéria biodegradável ao longo do processo, ao passo que a fração inerte permanece com pouca alteração. Ao final do tratamento biológico esperam-se valores superiores a 3,0 para a relação DQO/DBO<sub>5</sub> (VON SPERLING, 1996).

### Carbono orgânico total (COT)

Assim como a DQO e DBO, a análise de COT também é um indicador global do teor de matéria orgânica presente em efluentes (CAVALCANTI, 2012). A análise de COT, entretanto, é considerada um parâmetro direto na determinação do teor de carbono orgânico da amostra. O teste empregado na determinação de carbono orgânico total baseia-se na oxidação da matéria orgânica a CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O (CAMMAROTA, 2011).

A análise de COT tem a vantagem de necessitar de um tempo curto para sua realização, entretanto não informa o real potencial poluidor do efluente, mas permite estabelecer relações entre DQO e COT, possibilitando, com isso, a obtenção de valores mais exatos do teor de matéria orgânica (CAMMAROTA, 2011).

### Nutrientes

Os nutrientes nitrogênio (N) e fósforo (P) contidos nos efluentes devem ter seus teores máximos reduzidos antes do seu lançamento em corpos hídricos. A presença destes nutrientes nos sistemas aquáticos pode causar problemas devido à proliferação de microalgas e vegetais, alterando as propriedades da água, além de

causar eutrofização de corpos d'água relativamente estagnados, como baías e lagoas (SANT'ANNA Jr., 2010).

O nitrogênio contido nos efluentes pode estar presente na forma de proteínas e outras moléculas orgânicas, e na sua forma inorgânica é mais abundantemente encontrado com íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), cujo equilíbrio com a forma não ionizada ( $\text{NH}_3$ ) é fortemente dependente do pH (SANT'ANNA Jr., 2010).

O fósforo se apresenta nos efluentes de diferentes formas. Cerca de 50% do fósforo contido nos efluentes pode estar na forma inorgânica, e na forma orgânica pode estar presente na forma de fosfolípidos, ésteres, polinucleotídeos, e é encontrado na maioria dos detergentes domésticos (NUVOLARI, 2007, SANT'ANNA Jr., 2010).

### 3.3 PROCESSO DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO

O tratamento de efluentes depende de um processo físico-químico que envolve os fenômenos de coagulação e floculação (GUZMÁN et al., 2013). Há, descritos na literatura, quatro mecanismos pelos quais se procura explicar o fenômeno de coagulação (THOMPSON JR, 2015). São eles:

- Compressão da dupla camada elétrica – está relacionada com a adição de grandes quantidades de um eletrólito qualquer, a natureza deste não interfere no processo, pois o eletrólito não atua diretamente na partícula coloidal. A adição deste causa o aumento da densidade de cargas na camada difusa e diminui o diâmetro de influência das partículas, ocorrendo coagulação por compressão da camada difusa;
- Adsorção e neutralização de cargas – Neste mecanismo, o coagulante possui carga contrária à do coloide. A sua adição ao meio líquido promove a neutralização das cargas negativas do coloide, como consequência ocorre a aglutinação das partículas. Este é o mecanismo pelo qual o cloreto férrico age como coagulante no tratamento de águas.
- Adsorção e formação de pontes – caracteriza-se por envolver o uso de polímeros de grandes cadeias moleculares. Estas longas cadeias, contendo grupos carregados positivamente, neutralizam a carga negativa dos coloides

(GUZMÁN et al., 2013), desestabilizando-os. Em seguida, as partículas se aglutinam, pois não há mais forças elétricas repelindo-as, e se entrelaçam nas longas cadeias poliméricas, formando flocos densos o suficiente para sedimentarem;

- Varredura – envolve a adição de grandes doses de coagulante. As partículas de poluentes são literalmente varridas da fase contínua por ação da precipitação em massa dos hidróxidos formados a partir do coagulante.

A floculação é o fenômeno aplicado subsequentemente à coagulação, e consiste na reunião, promovida por agitação, dos aglomerados em flocos maiores, formando flocos bem visíveis a olho nu. É um fenômeno mais lento, podendo se desenvolver por até uma hora, porém deve ocorrer sob agitação suave para que os flocos formados não quebrem (RICHTER, 2009). Após a floculação, a etapa seguinte visa remover os flocos que se formaram e, com eles, as substâncias indesejadas. Operações como sedimentação, filtração ou flotação podem ser usadas para este fim (THOMPSON JR, 2015).

Os fenômenos de coagulação e floculação são influenciados pelas variáveis velocidade e tempo de agitação, e também pela concentração do agente coagulante e/ou floculante. Por meio de ensaios, é possível definir os valores mais apropriados de velocidade e tempo de agitação para a etapa rápida (coagulação) e também para a etapa lenta (floculação), além do pH e da melhor dosagem de coagulante e/ou auxiliar de coagulação (RICHTER, 2009).

### 3.4 COAGULANTES E AUXILIARES DE COAGULAÇÃO

Qualquer agente que promova a coagulação é um coagulante. A maior parte dos coloides presentes nos efluentes industriais é de carga negativa (CAVALCANTI, 2012). Assim, a coagulação destas partículas é induzida pela adição de coagulantes contendo cátions de elevada valência ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , etc.). Os auxiliares de coagulação, também chamados floculantes, são agentes que auxiliam na floculação (aglomeração) dos coágulos, contribuindo para a formação de flocos maiores, mais facilmente separáveis do meio líquido (RICHTER, 2009).

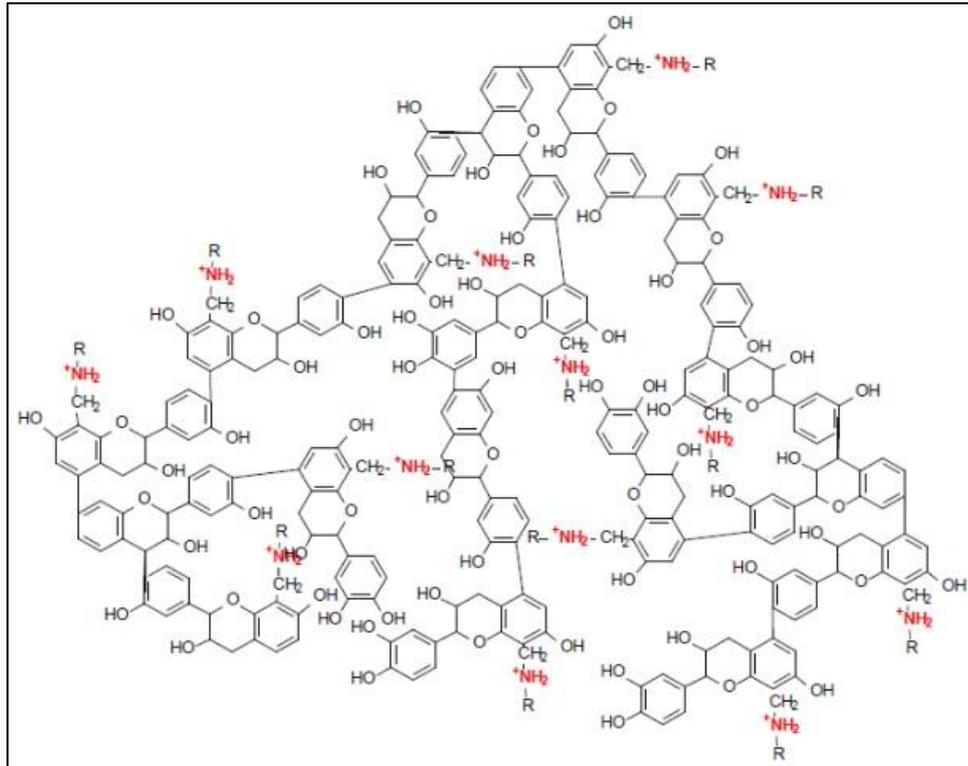
## Cloreto Férrico

O cloreto férrico é um sal de fórmula  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , obtido da oxidação do cloreto ferroso, e este, da reação entre ácido clorídrico e óxido de ferro. É muito usado como coagulante primário para depurar águas residuárias e no tratamento de águas de consumo (DI BERNARDO; DI BERNARDO; CENTURIONE FILHO, 2002).

Devido à larga faixa de pH em que produz bons flocos (entre 5 e 11), é um dos coagulantes químicos mais empregados no tratamento de efluentes industriais, inclusive na remoção de fósforo em tratamentos terciários (NUNES, 2001). É particularmente útil na redução da cor em baixos valores de pH (RICHTER, 2009). Em contato com a água, o cloreto férrico hidrolisa formando hidróxidos de carga positiva, e o valor desta carga depende da concentração do metal e do pH final da mistura.

## Taninos (Tanfloc<sup>®</sup>)

O Tanfloc<sup>®</sup> trata-se de um polímero orgânico-catiônico produzido a partir de taninos extraídos da casca da Acácia Negra (*Acacia mearnsii*). É, portanto, um polímero natural. Sua estrutura polimérica é mostrada na Figura 3.1, onde se observam os grupos amino, estes estão envolvidos no mecanismo de formação de pontes responsável pelo processo de coagulação das partículas (MANGRICH et al., 2014).



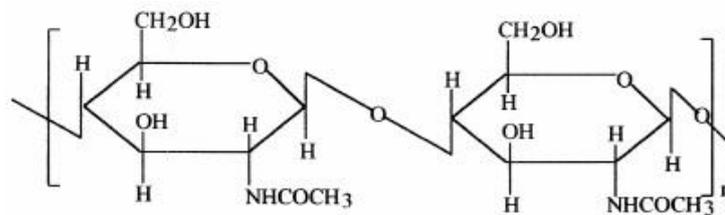
**Figura 3.1 - Estrutura polimérica do Tanfloc®**

Fonte: Mangrich et al. (2014).

Muitas são as pesquisas que comprovam a eficiência dos taninos modificados como agentes coagulantes, tanto em águas residuárias (NEVES et al., 2014; WOLF et al., 2015) quanto em águas para consumo humano (SÁNCHEZ-MARTÍN; BELTRÁN-HEREDIA; SOLERA-HERNÁNDEZ, 2010; GUZMÁN et al., 2013). Para que se entenda, os taninos não possuem carga elétrica residual em sua molécula, por isso são submetidos a rotas químicas com o intuito de adicionar a ela sítios carregados eletricamente (grupos  $-\text{NH}_2^+$ , Figura 3.1), os quais tornam a molécula útil no mecanismo de coagulação (MANGRICH et al., 2014).

## Quitosana

A quitosana é um biopolímero obtido pela reação de desacetilação<sup>1</sup> da quitina em meio alcalino (GOY; ASSIS; CAMPANA FILHO, 2004). A quitina (Figura 3.2) é um polímero natural localizado em toda a parede celular de leveduras e exoesqueleto de invertebrados como crustáceos, insetos, etc., sendo composta predominantemente pela unidade monomérica N-acetil-D-glicosamina, também chamada  $\beta$ -(1  $\rightarrow$  4)-2-acetamida-2-desoxi-D-glicose.

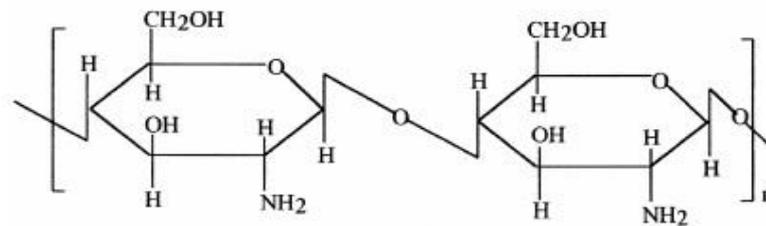


**Figura 3.2 - Estrutura química da quitina**

Fonte: Kumar (2000).

A quitina é insolúvel em praticamente todos os solventes usuais. Quando o seu grau de desacetilação é superior a 50%, ela passa a ser chamada de quitosana (RINAUDO, 2006). A quitosana é composta predominantemente pela unidade monomérica D-glicosamina ( $\beta$ -(1  $\rightarrow$  4)-2-amino-2-desoxi-D-glicose) e, assim como a quitina, é um copolímero formado por ambas as unidades D-glicosamina e N-acetil-D-glicosamina, entretanto na quitosana predomina a D-glicosamina, ao contrário da quitina. O grau de desacetilação, a distribuição de massa molar e conteúdo de impurezas da quitosana dependem das fontes naturais de matéria-prima e dos métodos de preparação (LARANJEIRA, 2009).

<sup>1</sup>Desacetilação – compreende a retirada do radical acetil ( $-COCH_3$ ) da molécula de quitina, restando o grupo ( $-NH_2$ ) em seu lugar. Com a desacetilação, a unidade de repetição N-acetil-D-glicosamina é convertida em D-glicosamina.



**Figura 3.3 - Estrutura química da quitosana**

Fonte: Kumar (2000).

A transformação da quitina em quitosana traz novas propriedades para o polímero, de modo que a quitosana é insolúvel em água, bases, álcool e acetona, mas é solúvel em solução de alguns ácidos orgânicos diluídos, como ácido acético. Ácidos inorgânicos, como nítrico ou clorídrico, a dissolvem somente depois de prolongada agitação e aquecimento (JANEGITZ et al., 2007). A massa molar média da quitina localiza-se entre  $1,03 \cdot 10^6$  e  $2,5 \cdot 10^6$  Daltons (CHEBA, 2011), enquanto a quitosana comercial tem uma massa molar média na faixa de  $1,0 \cdot 10^5$  –  $1,2 \cdot 10^6$  Daltons (ROBERTS, 1992 apud LARANJEIRA, 2009).

A retirada do radical acetil de parte dos monômeros da quitosana expõe o grupo ( $-NH_2$ ). Este grupo é protonado em meio ácido, tornando-se ( $-NH_3^+$ ), sendo nesta forma capaz de neutralizar os coloides (RINAUDO, 2006). Quando se trata de espécies metálicas, o grupo amino protonado promove a quelação do íon juntamente com o grupo ( $-OH$ ) vizinho (JANEGITZ et al., 2007). Por se tratar a quitosana de um polímero orgânico, ela também promove a coagulação por meio do mecanismo de formação de pontes.

A quitosana é um dos biopolímeros mais abundantes e de baixo custo no mundo (VAKILI et al., 2014), e muito se tem publicado acerca de seu uso em diferentes áreas. No tratamento de águas, a quitosana tem se mostrado útil, inclusive combinada a outros compostos, na remoção de poluentes diversos, como corantes (VAKILI et al., 2014), óleos e graxas (PITAKPOOLSIL; HUNSON, 2013) e íons metálicos (NAIR; PANIGRAHY; VINU, 2014).

### 3.5 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL – UMA FERRAMENTA ESTATÍSTICA

O planejamento experimental é uma ferramenta muito útil no levantamento e tratamento de dados experimentais, e envolve a combinação de três fatores: o conhecimento do processo que se quer investigar, os fundamentos de estatística e o bom senso.

Comumente, opta-se por investigar as variáveis envolvidas no estudo uma por vez (análise univariada). Trata-se de avaliar uma das variáveis a diferentes condições e as demais são fixadas. Medidas as respostas, nova variável é escolhida e as demais, novamente fixadas. O inconveniente da análise univariada é o estudo de um fator (variável) por vez. Se houver interação entre fatores, este não procedimento não o tornará conhecido. E também há o fato de a investigação ocorrer em valores pré-fixados que podem não culminar em resultados ótimos.

A análise multivariada trata-se, por sua vez, da combinação de todas as variáveis independentes ao mesmo tempo, havendo a investigação destas dentro de faixas previamente escolhidas (CORRAR; PAULO; DIAS FILHO, 2007). Todo o espaço experimental é investigado. Entretanto, este procedimento faz aumentar grandemente o número de ensaios, este é o grande inconveniente do método (RODRIGUES; IEMMA, 2014).

Neste cenário de um método simplificado, porém com informações limitadas, e outro trabalhoso, mas com informações mais ricas, o planejamento experimental torna-se uma opção bastante vantajosa. Além do mais, o tratamento estatístico atrelado a ele traz informações mais consistentes em relação aos métodos supracitados, como, por exemplo, o cálculo do erro experimental para avaliar a reprodutibilidade do processo (RODRIGUES; IEMMA, 2014).

O planejamento estatístico fornece, dentre outras vantagens, a possibilidade de se montar uma estratégia sequencial de planejamentos, ou seja, dois ou mais “pacotes” de ensaios, até que se atinja a condição ótima, se este for o intuito. Esta estratégia é aconselhada, segundo sugerem Rodrigues e Iemma (2014), quando se tem quatro ou mais variáveis a serem estudadas. Neste caso começa-se com um delineamento fatorial fracionado (DFF), e, então, após esse se aplica um delineamento composto central rotacional (DCCR). Para duas ou três variáveis independentes, aconselha-se aplicar diretamente um DCCR.

O DFF trata-se de um planejamento com número de ensaios reduzidos em relação a um delineamento fatorial completo, como é o caso do DCCR. Ele é aplicado quando se quer selecionar as variáveis de influência significativa no processo, e também quando não se conhece a região de otimização da resposta investigada (RODRIGUES; IEMMA, 2014). O DFF é, então, uma estratégia para seleção de variáveis e ajuste de suas faixas de modo a abranger a região ótima para aplicação subsequente de um DCCR.

O DCCR é o último planejamento a ser aplicado. Nele são usadas as variáveis independentes e suas respectivas faixas estudadas no DFF, dentro das quais se espera encontrar a condição ótima de tratamento, de modo a maximizar ou minimizar a resposta desejada, conforme se queira. Este planejamento evidencia se há ou não interação entre variáveis, e, ainda, fornece superfícies de resposta das quais se extrai a região ótima de trabalho para cada uma das respostas do processo investigado (RODRIGUES; IEMMA, 2014).

### 3.5.1 Função desejabilidade

A função desejabilidade trata-se de um método de otimização simultânea proposto por G. C. Derringer e R. Suich em seu artigo publicado em 1980: “*Simultaneous optimization of several response variables*”. O método baseia-se na definição de uma função de desejabilidade para cada resposta e com valores restritos ao intervalo [0, 1], onde zero significa um valor inaceitável e 1, o valor mais desejável (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010).

Uma vez que tenham sido definidas as funções de desejabilidade para cada resposta, estas funções são combinadas numa desejabilidade global, dada pela média geométrica das  $m$  desejabilidades individuais:

$$D = \sqrt[m]{d_1 d_2 \dots d_m} \quad (3.1)$$

Com este artifício, a otimização simultânea das várias respostas resulta em um único valor, a desejabilidade global. Há softwares que realizam todo o cálculo,

fornecendo prontamente o valor de todas as respostas de modo a resultar nesta condição ótima. A grande vantagem do uso da função desejabilidade é a obtenção de uma única condição experimental para todo o processo, e que maximize ou minimize todas as respostas ao mesmo tempo, conforme se queira (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 REAGENTES

O coagulante Tanfloc SG<sup>®</sup> foi cedido pela empresa Tanac SA na forma de pó. A quitosana em flocos foi adquirida da Sigma-Aldrich, com grau de desacetilação de 75 – 85%. O cloreto férrico foi adquirido (Alphatec) na forma de cristais de pureza analítica. Ajustes necessários de pH foram realizados com soluções diluídas de NaOH e HCl. Os reagentes para análise de DQO possuíam pureza analítica (sulfato de mercúrio II (Synth), sulfato de prata (Qhemis), dicromato de potássio (Dinâmica), ácido sulfúrico (Dinâmica) e biftalato de potássio (Vetec)).

### 4.2 LOCAL DE COLETA, AMOSTRAGEM E CARACTERIZAÇÃO

O efluente usado nos experimentos foi cedido por um abatedouro e frigorífico de suínos localizado na cidade de Medianeira, oeste do estado do Paraná. A unidade abate, diariamente, cerca de 6.000 suínos, e o consumo de água médio é de 750 litros / cabeça de suíno. O efluente líquido gerado é encaminhado para as unidades de tratamento preliminar e primário, compostas por peneiras estáticas e decantadores. Na sequência, o efluente segue para o tratamento secundário, o qual é composto por lagoas de estabilização em série, sendo duas lagoas anaeróbias, uma lagoa aerada de mistura completa e uma lagoa de decantação. Há, por último, uma etapa de pós-tratamento físico-químico (coagulação/floculação/flotação) com adição de agente coagulante para remoção da carga orgânica remanescente.

O efluente foi coletado em galões de polietileno, homogeneizado em tanque de 320 litros e congelado em garrafas pet de 2 litros a  $-18^{\circ}\text{C}$  em freezer doméstico, conforme orientação da norma NBR 9898 (ABNT, 1987). O ponto de coleta localizou-se ao final da planta de tratamento biológico, conforme é mostrado no esquema simplificado da Figura 4.1.



**Figura 4.1 – Esquema simplificado do ponto de coleta do efluente de estudo**

Foram necessárias duas coletas de efluente, portanto dois lotes, com cerca de 120 litros cada. As características dos lotes 1 e 2 são mostradas na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1 - Caracterização do efluente de estudo coletado no abatedouro e frigorífico de suínos**

Parâmetro	Lote 1	Lote 2	Método (APHA et al., 2012)
<b>Cor aparente (UC)</b>	212 ± 4	311 ± 10	2120B - Colorimétrico
<b>Turbidez (UNT)</b>	38 ± 1	63 ± 4	2130B - Nefelométrico
<b>DQO (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	173,2 ± 20,4	189,4 ± 6,4	5220D - Colorimétrico
<b>pH</b>	7,89 ± 0,11	7,90 ± 0,15	4500-H <sup>+</sup> B - Potenciométrico

Média ± desvio padrão de triplicatas.

O efluente de estudo apresentou pH levemente básico e baixos valores para DQO, cor aparente e turbidez. Segundo Cavalcanti (2012), efluentes contendo nível de DQO inferior a 500 mg.L<sup>-1</sup> podem ser classificados como de baixa DQO, sendo o caso deste efluente.

### 4.3 ANÁLISES

Sobre o efluente tratado em condições ótimas (respostas minimizadas), foram realizadas as análises previstas na Tabela 4.2, com a descrição dos respectivos métodos.

**Tabela 4.2 – Parâmetros analisados do efluente de estudo coletado no abatedouro e frigorífico de suínos, e respectivos métodos de análise**

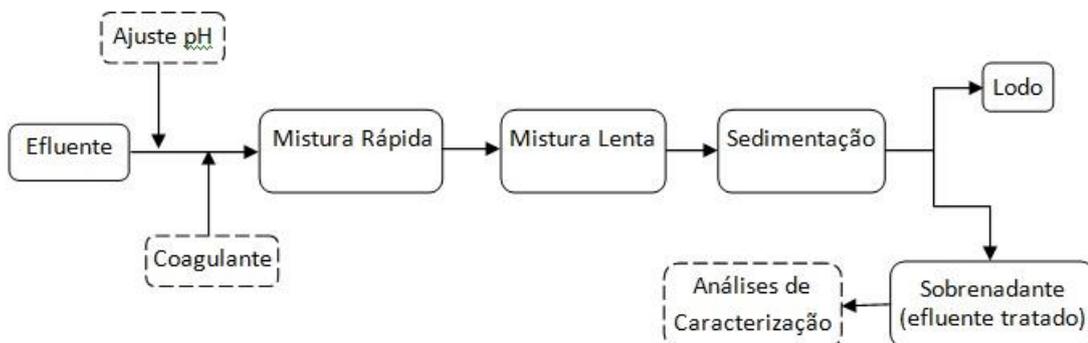
Parâmetros	Unidade	Método	Referência
Cor aparente	(UC)	2120B - Colorimétrico	APHA et al., 2012
Turbidez	(UNT)	2130B - Nefelométrico	APHA et al., 2012
DQO	(mg.L <sup>-1</sup> )	5220D - Colorimétrico	APHA et al., 2012
pH	-	4500-H <sup>+</sup> B - Potenciométrico	APHA et al., 2012
DBO	(mg.L <sup>-1</sup> )	5210D - Respirométrico	APHA et al., 2012
Ferro ferroso	(mg.L <sup>-1</sup> )	nº 8.146 - 1,10-fenantrolina	HACH, 2007
Fósforo total	(mg.L <sup>-1</sup> )	nº 8.190 – Digestão ácida de persulfato	HACH, 2007
Carbono total	(mg.L <sup>-1</sup> )	nº 10.173 - Direto	HACH, 2007

Média ± desvio padrão de triplicatas.

#### 4.4 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO, FLOCULAÇÃO E SEDIMENTAÇÃO

O coagulante Tanfloc SG<sup>®</sup> e o cloreto férrico foram usados na forma de solução aquosa 0,5% (m/v) em água destilada. A quitosana foi solubilizada, sob agitação e aquecimento a 70°C por quatro horas, em meio ácido diluído (0,05 mol·L<sup>-1</sup>) a 0,15% (m/v).

Os ensaios foram realizados em *Jar Test* (Ethik/218-6 LDB) no modo batelada, e o procedimento adotado nos ensaios de coagulação está apresentado no fluxograma da Figura 4.2.



**Figura 4.2 - Fluxograma contendo as etapas do experimento de coagulação, floculação e sedimentação**

Em cada jarro foi adicionado 0,5 L de efluente, com pH previamente ajustado com solução de ácido clorídrico  $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ . Ao acionar o cronômetro para início do experimento, foi imediatamente adicionado o coagulante com o auxílio de calha, e o conteúdo foi agitado em alta rotação por um período curto de tempo para promover a desestabilização dos colóides, e depois foi deixado flocular por um tempo maior a uma rotação baixa o suficiente para não quebrar os flocos formados. O efluente foi deixado em repouso para sedimentação dos flocos e, a seguir, foi retirado um volume (~150 mL) do sobrenadante de cada béquer para análise, segundo orientação de Richter (2009) para o método. Este sobrenadante foi, em seguida, submetido às análises de turbidez, cor aparente e DQO. Para o caso do uso de coagulante cloreto férrico e auxiliar de coagulação (Tanfloc<sup>®</sup> ou quitosana), a adição de ambos foi realizada de forma simultânea. Foram realizados testes com a adição simultânea dos compostos e também adicionando o coagulante no início da etapa rápida e o auxiliar no início da etapa lenta. Os testes (não mostrados aqui) demonstraram que a adição simultânea dos compostos é mais eficiente na redução das respostas avaliadas (DQO, turbidez e cor aparente).

#### 4.5 PLANEJAMENTOS EXPERIMENTAIS

A aplicação de planejamento experimental teve como objetivo a definição do melhor valor para cada variável independente investigada no tratamento de coagulação, de modo a reduzir ao máximo as respostas analisadas. Em todos os experimentos foram analisadas as respostas DQO, turbidez e cor aparente.

Primeiramente foram realizados ensaios preliminares com o Tanfloc<sup>®</sup> para definição de uma faixa de concentração do coagulante a ser usada no planejamento experimental  $2^{(7-3)}$ . Foram testadas as concentrações de 20 a  $300\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , conforme mostrado na Tabela 4.3, sem ajuste do pH, ou seja, no pH original do efluente. Baseando-se nestes resultados, optou-se por fixar a faixa de concentração de 20 a  $120\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , estendendo-a um pouco além daquela onde se observaram mudanças nas respostas segundo o Teste de Tukey.

**Tabela 4.3 – Ensaio preliminares para definição de faixa de concentração de Tanfloc® para o planejamento experimental 2<sup>(7-3)</sup>**

Tanfloc® (mg.L <sup>-1</sup> )	20	50	100	150	200	300
DQO (mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub> )	58 <sup>a</sup>	73 <sup>a</sup>	67 <sup>a</sup>	50 <sup>a</sup>	89 <sup>a</sup>	92 <sup>a</sup>
Turbidez (UNT)	22 <sup>a</sup>	15 <sup>b</sup>	2 <sup>c</sup>	1 <sup>c</sup>	2 <sup>c</sup>	1 <sup>c</sup>
Cor aparente (UC)	206 <sup>a</sup>	145 <sup>b</sup>	65 <sup>c</sup>	58 <sup>c</sup>	73 <sup>c</sup>	62 <sup>c</sup>

Letras diferentes na mesma linha representam médias diferentes entre si, teste de Tukey a 5%. Lote 1 de efluente. Ensaio realizado com 600 mL de efluente por cubeta em: velocidade de mistura rápida = 200 rpm, tempo de mistura rápida = 3,3 min, velocidade de mistura lenta = 40 rpm, tempo de mistura lenta = 30 min, tempo de sedimentação = 60 min, pH original do efluente e igual a 7,8. Valores adaptados de Beltrán-Heredia et al. (2009).

Na sequência, foi realizado um planejamento fatorial fracionado 2<sup>(7-3)</sup> (5 pontos centrais, total de 21 ensaios) para cada um dos três coagulantes, com o intuito de definir o melhor valor para cada uma das variáveis (velocidade e tempo de mistura rápida, velocidade e tempo de mistura lenta, concentração de coagulante, pH e tempo de sedimentação), sempre de modo a minimizar as respostas analisadas. As faixas adotadas para o Tanfloc® (primeiro coagulante testado) foram baseadas em dados da literatura. As faixas adotadas para a quitosana e cloreto férrico foram escolhidas com base nos resultados dos planejamentos realizados para o Tanfloc®. A faixa avaliada de pH para a quitosana teve o seu valor máximo de 6,5 escolhido por ser ela insolúvel em soluções com pH superior a este valor (DAMIAN et al., 2005). Para o Tanfloc® foi necessário ainda um DCCR para melhor definição dos valores de concentração e pH. Para definir a concentração ideal para o cloreto férrico, foram realizados testes adicionais em uma ampla faixa de concentração (20 a 260 mg.L<sup>-1</sup>).

Os ensaios dos planejamentos fracionados e do DCCR (Tanfloc®) foram realizados aleatoriamente, conforme sugerem Rodrigues e lemma (2014), e os resultados foram tratados com o programa STATISTICA 7.0®. Este programa também foi usado para gerar os modelos matemáticos para o Tanfloc® a partir dos resultados do DCCR. O ajuste dos modelos matemáticos foi avaliado por meio de análise de variância (ANOVA), e as equações foram aplicadas na função desejabilidade, com auxílio do *software*, com o intuito de definir a melhor condição experimental para minimizar simultaneamente todas as respostas. Sobre o efluente tratado nesta condição experimental ótima, foram realizadas todas as análises previstas. Para o cloreto férrico, as mesmas análises foram realizadas após

tratamento nas condições definidas no planejamento fracionado, com a concentração ótima definida nos testes adicionais. A diferença entre médias foi testada pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 TANFLOC®

Na Tabela 5.1 estão apresentados os efeitos das variáveis independentes sobre as respostas medidas após tratamento do efluente com Tanfloc®, segundo o planejamento fatorial fracionado 2<sup>(7-3)</sup>.

**Tabela 5.1 – Variáveis e faixas estudadas no planejamento fracionado 2<sup>(7-3)</sup> e seus efeitos sobre as respostas DQO, turbidez e cor aparente - Tanfloc®**

Variável	Níveis			DQO		Turbidez		Cor aparente	
	-1	0	+1	Efeito (mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub> )	p-valor	Efeito (UNT)	p-valor	Efeito (UC)	p-valor
Concentração de coagulante (mg.L <sup>-1</sup> )	20	110	120	6,15	0,4638	-0,25	0,8231	5,25	0,5563
Velocidade de mistura rápida (rpm)	100	250	400	4,35	0,6022	-1,25	0,2755	-9,25	0,3072
Tempo de mistura rápida (min)	1	3	5	2,82	0,7341	-0,25	0,8231	-5,00	0,5750
Velocidade de mistura lenta (rpm)	15	45	75	-3,85	0,6442	1,75	0,1357	2,50	0,7781
Tempo de mistura lenta (min)	10	20	30	-10,32	0,2280	-0,25	0,8231	-1,50	0,8656
pH	5,0	7,5	9,0	-16,68	0,0626	-3,25	0,0117	28,75	0,0062
Tempo de sedimentação (min)	10	15	20	4,18	0,6167	-0,25	0,8231	0,25	0,9775

Nível de significância  $\alpha$  igual a 10%. Erro padrão avaliado, 13 graus de liberdade. Lote 1 de efluente.

Observa-se influência significativa do tratamento somente para a variável pH, para p-valor inferior a 10%, conforme sugerido para planejamentos fracionados (RODRIGUES; IEMMA, 2014). O aumento do pH promoveu redução de DQO e turbidez, mas elevou o valor da cor aparente. A concentração do coagulante não se

mostrou significativa no tratamento, segundo o p-valor. Entretanto, optou-se por considerá-la juntamente com o pH para a sequência de experimentos no planejamento DCCR pelo fato de que o Tanfloc<sup>®</sup> é um composto orgânico, e o excesso desse coagulante, se houver, soma-se à matéria orgânica do efluente, resultando na aparente não remoção do poluente e de ineficácia do coagulante.

O tempo de mistura rápida apresentou p-valores bastante altos (Tabela 5.1), não mostrando efeito significativo para nenhuma resposta. A variável foi, então, fixada em 1 minuto (menor tempo testado), estando este valor em concordância com outros estudos similares de otimização (VALVERDE et al., 2013; SANTOS et al., 2015). A velocidade e tempo de mistura lenta também não apresentaram efeito significativo sobre as respostas e foram fixadas nos menores valores, 15 rpm e 10 minutos, respectivamente. A variável velocidade de mistura rápida igualmente não se mostrou significativa para nenhuma resposta. Seu valor foi fixado em 100 rpm.

A variação do tempo de sedimentação de 10 para 20 minutos também não foi relevante para o tratamento. Foi conveniente, portanto, fixar a variável no menor tempo testado, que foi de 10 minutos. Em geral, os estudos de coagulação/floculação/sedimentação envolvendo coagulantes à base de taninos optam por fixar o tempo de sedimentação em um valor grande o suficiente para garantir a sedimentação de todos os flocos sedimentáveis. Alguns autores pré-fixaram valores de 15 minutos (VALVERDE et al., 2013; dos SANTOS et al., 2015), outros, 20 minutos (WOLF et al., 2015), 30 minutos (GRAHAM et al., 2008; NNAJI et al., 2014) ou 1 hora (SÁNCHEZ-MARTÍN, GONZÁLEZ VELASCO, BELTRÁN-HEREDIA, 2010). Assim sendo, o tempo de 10 minutos para sedimentação foi considerado bastante razoável no presente estudo.

Para definição da melhor condição experimental para o tratamento, a concentração do coagulante e o pH do efluente foram testados em um DCCR 2<sup>2</sup> (Tabela 5.2). A faixa de concentração foi, então, ajustada para 40 a 110 mg.L<sup>-1</sup> para este planejamento. Entende-se que a concentração de 20 mg.L<sup>-1</sup> é muito baixa para remover matéria orgânica satisfatoriamente, e 120 mg.L<sup>-1</sup> é uma concentração elevada demais e que remove matéria orgânica, mas, em contrapartida, deixa um excesso de coagulante no efluente, o que acaba por compensar a retirada de material.

Quanto ao pH, este influenciou todas as respostas, promovendo redução de DQO e turbidez e aumento da cor aparente, ao passar de pH 5,0 para 9,0. O

fabricante do Tanfloc<sup>®</sup> atesta a eficácia do produto na faixa de pH 4,5 a 8,0. Decidiu-se, assim, para o próximo planejamento, ajustar a faixa para 4,0 a 9,0, estendendo-a um pouco além e aquém do que sugere a ficha técnica do coagulante (Anexo A). O motivo para o reajuste é que esta faixa abrange o pH original do efluente (7,8) como um dos níveis investigados no DCCR (nível +1).

**Tabela 5.2 – Níveis reais e codificados das variáveis testadas no DCCR 2<sup>2</sup> - Tanfloc<sup>®</sup>**

Variável	Código	Níveis				
		-1,41	-1	0	+1	+1,41
Concentração de coagulante (mg.L <sup>-1</sup> )	x <sub>1</sub>	40	50	75	100	110
pH	x <sub>2</sub>	4,0	5,3	6,5	7,8	9,0

O DCCR, realizado na sequência, teve suas duas variáveis independentes estudadas conforme as faixas mostradas na Tabela 5.2. A partir deste delineamento, obteve-se, com auxílio do *Statistica*, a Tabela 5.3 de coeficientes para os modelos matemáticos gerados, representados nas Equações 1, 2 e 3.

**Tabela 5.3 – Coeficientes de regressão para as respostas DQO, turbidez e cor aparente segundo DCCR 2<sup>2</sup> - Tanfloc<sup>®</sup>**

	DQO		Turbidez		Cor aparente	
	Coeficiente	p-valor	Coeficiente	p-valor	Coeficiente	p-valor
<b>Média</b>	6,04	0,0034	2,67	0,0018	69,00	0,0000
<b>x<sub>1</sub> (L)</b>	6,04	0,5438	-2,72	0,0002	-27,85	0,0002
<b>x<sub>1</sub><sup>2</sup> (Q)</b>	14,75	0,2390	1,42	0,0070	17,00	0,0038
<b>x<sub>2</sub> (L)</b>	-14,35	0,1824	4,50	0,0000	73,75	0,0000
<b>x<sub>2</sub><sup>2</sup> (Q)</b>	13,00	0,2919	3,17	0,0002	51,00	0,0000
<b>x<sub>1</sub> · x<sub>2</sub></b>	-11,75	0,4113	-1,75	0,0059	-25,50	0,0014

x<sub>1</sub> = concentração do coagulante. x<sub>2</sub> = pH. Lote 1 de efluente.

Demais variáveis fixadas em: Velocidade de mistura rápida = 100 rpm; Tempo de mistura rápida = 1 minuto; Velocidade de mistura lenta = 15 rpm; Tempo de mistura lenta = 10 minutos; Tempo de sedimentação = 10 minutos.

$$DQO = 79 + 6,04x_1 + 14,75x_1^2 - 14,35x_2 + 13x_2^2 - 11,75x_1x_2 \quad (1)$$

$$Turbidez = 2,67 - 2,72x_1 + 1,42x_1^2 + 4,50x_2 + 3,17x_2^2 - 1,75x_1x_2 \quad (2)$$

$$Coraparente = 69 - 27,85x_1 + 17x_1^2 + 73,75x_2 + 51x_2^2 - 25,50x_1x_2 \quad (3)$$

O ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais de coagulação, floculação e sedimentação foi verificado por meio das respectivas análises de variância, conforme mostrado na Tabela 5.4.

**Tabela 5.4 – Análises de variância dos modelos matemáticos gerados pelo DCCR 2<sup>2</sup> – Tanfloc<sup>®</sup>**

	Fonte de variação	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média Quadrática	F <sub>calculado</sub> (95%)	p-valor	F <sub>tabelado</sub> (95%)
DQO	Regressão	4183,5	5	836,7	1,22	0,41761	5,05
	Resíduos	3440,1	5	688,0			
	Falta de ajuste	1854,1	3	618,0	0,78	0,60432	
	Erro puro	1586,0	2	793,0			
	<b>Total</b>	<b>7623,6</b>	<b>10</b>				<b>R<sup>2</sup> = 54,88%</b>
Turbidez	Regressão	291,1	5	58,2	99,73	0,00005	5,05
	Resíduos	2,9	5	0,6			
	Falta de ajuste	2,2	3	0,8	2,25	0,32223	
	Erro puro	0,7	2	0,3			
	<b>Total</b>	<b>294,0</b>	<b>10</b>				<b>R<sup>2</sup> = 99,01%</b>
Cor aparente	Regressão	67033,0	5	13406,6	212,30	0,00001	5,05
	Resíduos	315,8	5	63,2			
	Falta de ajuste	147,8	3	49,2	0,59	0,67991	
	Erro puro	168,0	2	84,0			
	<b>Total</b>	<b>67348,7</b>	<b>10</b>				<b>R<sup>2</sup> = 99,53%</b>

Regressão = (a), Resíduos = (b) = (c + d), Falta de ajuste = (c), Erro puro = (d), Total = (a + b).

Os valores de R<sup>2</sup> foram elevados para turbidez e cor aparente, indicando que 99% das variações observadas nas respostas são explicadas por ambos os modelos. O modelo preditivo da DQO, por sua vez, mostrou-se capaz de explicar apenas 55% das variações observadas. É um valor baixo, o que torna o modelo

ineficiente para representar os dados experimentais. Com relação a  $F_{\text{calculado}}$ , ainda para DQO, o valor de 1,22 é inferior ao  $F_{\text{tabelado}}$  ( $F_{(0,05;5;5)} = 5,05$ ). Deste modo, o critério  $F_{\text{regressão/resíduos}} \geq F_{\text{tabelado}}$  não foi atendido, e definitivamente o modelo não deve ser usado para prever a DQO. Os valores de  $F_{\text{calculado}}$  para turbidez e cor aparente foram bastante elevados e muito superiores ao  $F_{\text{tabelado}}$ , comprovando o excelente ajuste de ambos os modelos aos dados experimentais.

Na Figura 5.1 estão apresentadas as superfícies de resposta geradas pelos modelos matemáticos de turbidez e cor aparente. Os centros contidos nas curvas de contorno mostram que as faixas estudadas abrangem a região ótima, que é onde se consegue a menor resposta.

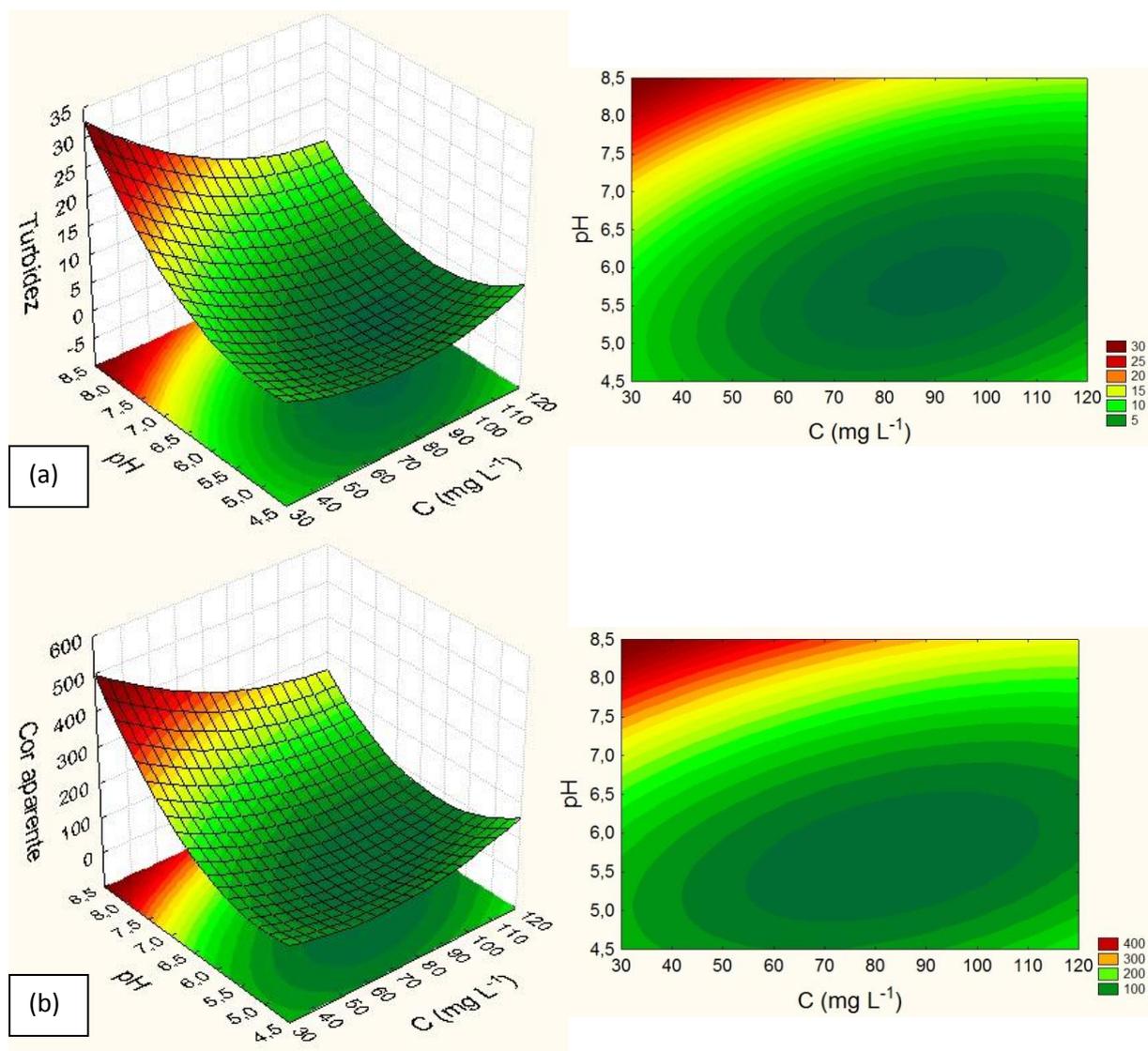


Figura 5.1 - Superfícies de resposta (à esquerda) e curvas de contorno (à direita) para (a) turbidez e (b) cor aparente do efluente tratado com Tanfloc<sup>®</sup> em condição ótima

As superfícies de resposta são úteis para se extrair os valores para as variáveis independentes que correspondam à menor/maior resposta. Neste trabalho, os gráficos da Figura 5.1 não foram usados para este fim. Ao invés disso, foi aplicada a função desejabilidade para definir a condição de respostas minimizadas.

As equações recém-ajustadas (2 e 3) foram aplicadas, na sequência, na função desejabilidade para tornar as duas condições ótimas (uma para cada equação) em uma única global, que minimize todas as respostas ao mesmo tempo. O *software Statistica* foi usado como ferramenta para gerar o quadro de gráficos apresentado na Figura 5.2.

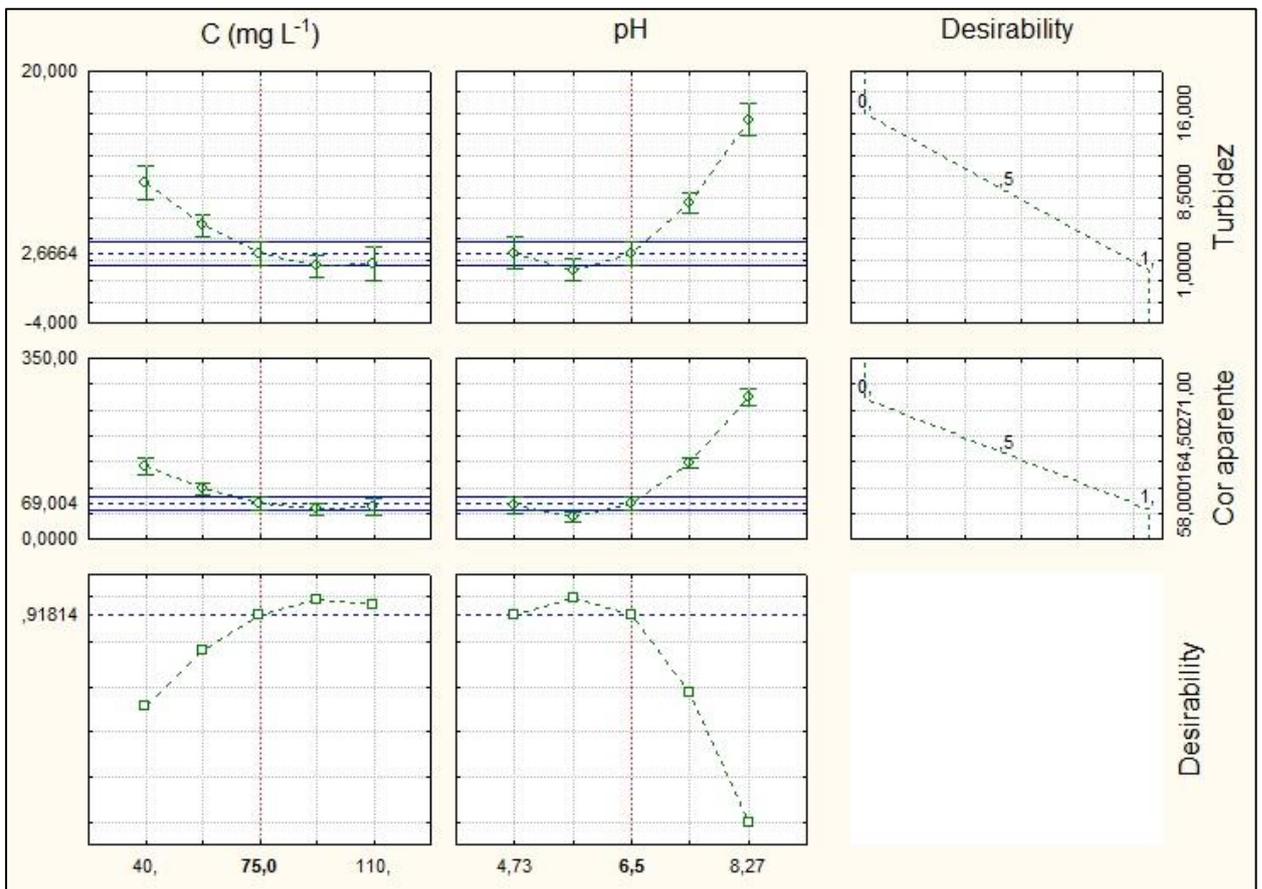


Figura 5.2 – Condição ótima global obtida pela uso da função desejabilidade aplicada aos modelos preditivos de turbidez e cor aparente – coagulante Tanfloc<sup>®</sup>

Segundo os gráficos obtidos com o uso da função desejabilidade (Figura 5.2), a concentração de coagulante e pH ótimos para o Tanfloc<sup>®</sup> foram 75 mg.L<sup>-1</sup> e

6,5, respectivamente. Estes, juntamente com os demais parâmetros cujos valores fixados foram apresentados na Tabela 5.5, foram os valores usados nos ensaios seguintes, para realização das demais análises complementares, mostradas no item 5.5.

**Tabela 5.5 – Condições ótimas obtidas para a realização de ensaios de tratamento do efluente com Tanfloc<sup>®</sup>**

Variável	Valor ótimo
Concentração de coagulante (mg·L <sup>-1</sup> )	75,0
pH	6,5
Velocidade de mistura rápida (rpm)	100
Tempo de mistura rápida (min)	1
Velocidade de mistura lenta (rpm)	15
Tempo de mistura lenta (min)	10
Tempo de sedimentação (min)	10

## 5.2 QUITOSANA

### *Solubilização da quitosana*

Para uso da quitosana como coagulante foi necessário prévia solubilização em meio ácido. Ensaio preliminares com dois ácidos foram realizados para definição do ácido para solubilização. Primeiramente foi testado HCl diluído, conforme descrito por Janegitz et al. (2007). Entretanto, a quitosana, além de não solubilizar por completo, ainda mudou de incolor para cor amarelo-pálido, essa mudança de cor pode ser um indicativo de descaracterização do polímero. A segunda tentativa foi com o ácido acético diluído, o qual solubilizou a quitosana satisfatoriamente, embora não totalmente, na concentração 0,03% (m/v) de quitosana, com resquício de algumas fibras insolúveis (Tabela 5.6). Entretanto, esta concentração é muito baixa, resultando em um volume elevado da solução a ser aplicada no tratamento. Por essa razão, foi adotada a concentração seguinte, de

0,15% de quitosana em ácido acético 0,05 mol.L<sup>-1</sup>, para uso nos ensaios, visto que, de qualquer forma, nenhuma das solubilizações ocorreu totalmente.

**Tabela 5.6 - Tentativas de solubilização da quitosana em meios ácidos**

<b>Quitosana (% m/v)</b>	<b>Ácido <sup>a</sup></b>	<b>Solubilizou?</b>
<b>0,10</b>	Clorídrico 0,01 mol.L <sup>-1</sup>	parcialmente <sup>b</sup>
<b>0,10</b>	Clorídrico 0,05 mol.L <sup>-1</sup>	parcialmente <sup>b</sup>
<b>0,03</b>	Acético 0,05 mol.L <sup>-1</sup>	parcialmente <sup>b</sup>
<b>0,03</b>	Acético 0,5 mol.L <sup>-1</sup>	parcialmente <sup>b</sup>
<b>0,05</b>	Acético 0,05 mol.L <sup>-1</sup>	parcialmente <sup>b</sup>
<b>0,05</b>	Acético 0,5 mol.L <sup>-1</sup>	parcialmente <sup>b</sup>
<b>0,10</b>	Acético 0,05 mol.L <sup>-1</sup>	parcialmente <sup>b</sup>
<b>0,15</b>	Acético 0,05 mol.L <sup>-1</sup>	parcialmente <sup>b</sup>
<b>0,15</b>	Acético 0,5 mol.L <sup>-1</sup>	parcialmente <sup>b</sup>
<b>0,15</b>	Acético 1,0 mol.L <sup>-1</sup>	parcialmente <sup>b</sup>
<b>0,20</b>	Acético 0,1 mol.L <sup>-1</sup>	parcialmente <sup>b</sup>
<b>0,30</b>	Acético 0,05 mol.L <sup>-1</sup>	parcialmente <sup>b</sup>

### *Planejamento fatorial fracionado 2<sup>(7-3)</sup>*

Na Tabela 5.6 estão mostrados os efeitos das variáveis independentes sobre as respostas medidas após tratamento do efluente com quitosana, segundo o delineamento fatorial fracionado 2<sup>(7-3)</sup>.

**Tabela 5.7 – Variáveis e faixas estudadas no planejamento fracionado 2<sup>(7-3)</sup> e seu efeito sobre as respostas DQO, turbidez e cor aparente - quitosana**

Variável	Níveis			DQO		Turbidez		Cor aparente	
	-1	0	+1	Efeito (mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub> )	p- valor	Efeito (UNT)	p- valor	Efeito (UC)	p- valor
Concentração de coagulante (mgL <sup>-1</sup> )	40	75	110	342,58	0,0000	5,50	0,0049	4,50	0,2942
Velocidade de mistura rápida (rpm)	100	200	300	1,91	0,7435	1,75	0,2947	5,50	0,2049
Tempo de mistura rápida (min)	1	3	5	1,91	0,7435	0,75	0,6471	17,00	0,0014
Velocidade de mistura lenta (rpm)	15	45	75	6,76	0,2593	6,50	0,0015	14,00	0,0052
Tempo de mistura lenta (min)	10	20	30	-4,11	0,4852	-0,50	0,7596	-2,50	0,5536
pH	4,0	5,2	6,5	-13,24	0,0389	-8,50	0,0002	16,50	0,0017
Tempo de sedimentação (min)	10	20	30	-11,26	0,0721	-4,25	0,0208	3,50	0,4103

Nível de significância  $\alpha$  igual a 10%. Erro padrão avaliado, 13 graus de liberdade. Lote 2 de efluente.

A concentração do coagulante teve efeito significativo sobre a DQO e turbidez, promovendo aumento nos valores destas respostas. O aumento foi consideravelmente maior para o parâmetro da DQO. O pH também teve influência significativa no tratamento. O aumento do pH de 4,0 para 6,5 promoveu redução de DQO e turbidez, mas elevou o valor da cor aparente, sendo este o mesmo comportamento observado para o tratamento com o coagulante Tanfloc®.

A velocidade de mistura rápida e o tempo de mistura lenta foram fixados no menor valor testado, que foi de 100 rpm e 10 minutos, respectivamente (p-valores não significativos). O tempo de mistura rápida foi fixado no maior valor testado, que foi de 5 minutos, pois seu aumento promoveu redução significativa na cor aparente. A velocidade de mistura lenta, por elevar os valores de turbidez e cor aparente, foi fixada em 15 rpm (menor valor testado). O tempo de sedimentação promoveu redução significativa de DQO e turbidez, e foi fixado no maior valor testado, que foi de 30 minutos.

Conforme exposto, a adição de quitosana contribuiu para o aumento das respostas analisadas, quando o esperado e desejado com o tratamento era a redução destas. Para melhor avaliação do desempenho da quitosana como coagulante, foi realizada uma nova sequência de ensaios, na qual a quitosana foi

testada em concentração zero e também em 40 mg.L<sup>-1</sup> (Tabela 5.8), em três pHs distintos, dentre os quais o pH 7,8 representou o pH original do efluente.

**Tabela 5.8 – Tratamento do efluente na ausência (amostra-controle) e presença de quitosana, com variação do pH**

C (mg.L <sup>-1</sup> )	Amostra-controle			40			Efluente de estudo	
	pH	4,0	6,0	7,8	4,0	6,0	7,8	7,8
DQO (mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub> )		165,5 <sup>b</sup>	150,1 <sup>b</sup>	148,1 <sup>b</sup>	344,1 <sup>a</sup>	326,8 <sup>a</sup>	310,8 <sup>a</sup>	166,1
Turbidez (UNT)		56 <sup>b</sup>	42 <sup>c</sup>	34 <sup>d</sup>	67 <sup>a</sup>	42 <sup>c</sup>	26 <sup>e</sup>	58
Cor aparente (UC)		326 <sup>a</sup>	301 <sup>ab</sup>	284 <sup>b</sup>	324 <sup>a</sup>	290 <sup>b</sup>	285 <sup>b</sup>	296

Demais variáveis fixadas em: Velocidade de mistura rápida = 100 rpm; Tempo de mistura rápida = 5 minutos; Velocidade de mistura lenta = 15 rpm; Tempo de mistura lenta = 10 minutos; Tempo de sedimentação = 30 minutos.

Letras diferentes na mesma linha representam médias diferentes entre si (Teste de Tukey,  $p \leq 0,05$ ). Lote 2 de efluente.

A análise dos dados apresentados na Tabela 5.8 permite concluir que, em relação à amostra controle, o tratamento com quitosana promoveu o aumento da DQO em 112%, em média, deixando clara a ação da quitosana no aumento de matéria orgânica no efluente.

Quanto à turbidez, a amostra-controle apresentou redução nesta resposta à medida que foram aumentados os valores de pH, ou seja, a simples mudança de pH já promoveu redução na turbidez, e o uso da quitosana apenas acentuou as diferenças, já que em pH 7,8 a redução da turbidez foi de cerca de 41% para a amostra-controle, e para o efluente tratado com quitosana foi de 55%. A cor aparente também apresentou valores maiores em pH 4,0, cerca de 10% maiores que o observado para o efluente de estudo, com ou sem quitosana no tratamento. Nos demais pHs, os valores foram similares ao do efluente de estudo.

Conclui-se dessa forma que a quitosana, apesar de apresentar redução de turbidez superior ao tratamento sem quitosana, em pH 7,8, não apresentou diferença significativa na redução de cor aparente, e, principalmente resultou em aumento significativo da matéria orgânica em termos de DQO, o que não é desejado no tratamento, e, portanto, esse polímero orgânico foi considerado ineficaz para o tratamento do efluente de estudo.

### 5.3 CLORETO FÉRRICO

De acordo com os dados experimentais coletados segundo o delineamento fracionado 2<sup>(7-3)</sup>, apresentados na Tabela 5.9, a concentração de cloreto férrico mostrou efeito significativo como coagulante dentro da faixa testada, promovendo redução das três respostas. A variável pH não promoveu mudanças estatisticamente significativas nas respostas. Por essa razão, o pH do efluente não foi alterado (mantido pH original) para os ensaios seguintes de determinação da melhor concentração de coagulante.

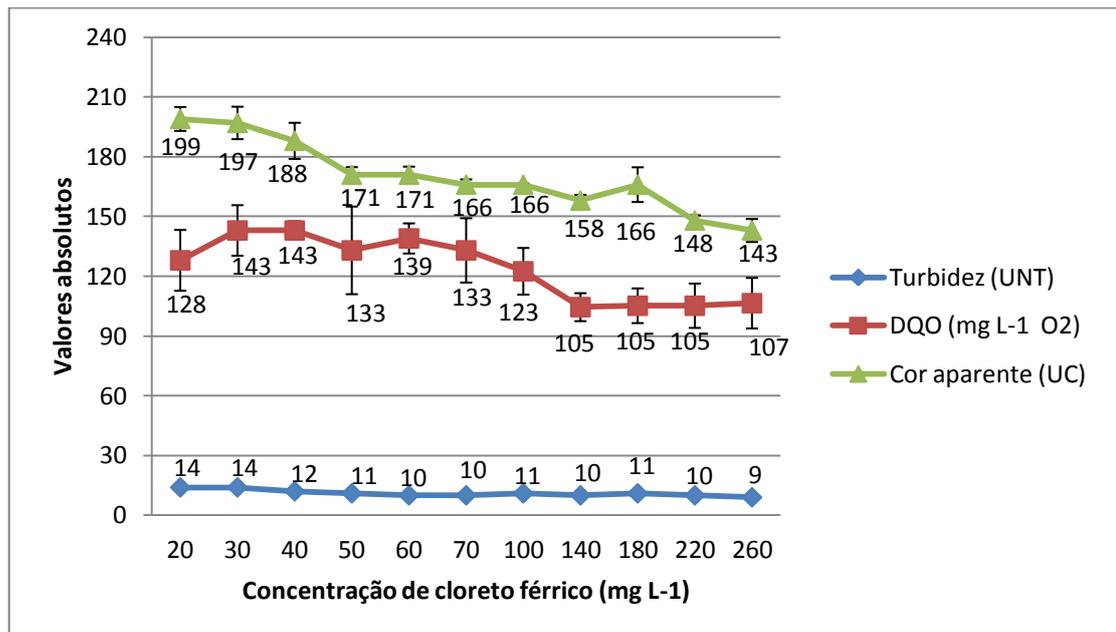
A partir do planejamento fatorial fracionado foram fixados os valores de 100 rpm e 10 segundos para a etapa rápida, e 10 minutos e 15 rpm para etapa lenta, tempo de sedimentação de 5 minutos e pH original do efluente. A velocidade e tempo das misturas rápida e lenta, bem como o tempo de sedimentação, tiveram seus valores fixados no menor valor testado, pois não mostraram influência significativa no tratamento.

**Tabela 5.9 – Variáveis e faixas estudadas no planejamento fracionado 2<sup>(7-3)</sup> e seu efeito sobre as respostas DQO, turbidez e cor aparente - cloreto férrico**

Variável	Níveis			DQO		Turbidez		Cor aparente	
	-1	0	+1	Efeito (mgL <sup>-1</sup> )	p-valor	Efeito (UNT)	p-valor	Efeito (UC)	p-valor
Concentração de coagulante (mgL <sup>-1</sup> )	10	30	50	-34,32	0,0000	-27,88	0,0000	-85,00	0,0000
Velocidade de mistura rápida (rpm)	100	200	300	-7,85	0,1255	5,12	0,2717	10,75	0,4548
Tempo de mistura rápida (s)	10	20	30	2,50	0,6095	-1,12	0,8046	-14,50	0,3180
Velocidade de mistura lenta (rpm)	15	45	75	-9,15	0,0790	-3,38	0,4627	-14,00	0,3343
Tempo de mistura lenta (min)	10	20	30	3,97	0,4206	-0,12	0,9780	-7,75	0,5879
pH	5,0	6,5	8,0	-11,80	0,3187	-5,50	0,4076	43,25	0,1886
Tempo de sedimentação (min)	5,0	12,5	20,0	2,67	0,5850	-5,62	0,2300	-11,00	0,4446

Nível de significância  $\alpha$  igual a 10%. Erro padrão avaliado, 13 graus de liberdade. Lote 2 de efluente.

Testes adicionais para avaliar a concentração de coagulante cloreto férrico foram necessários, em virtude da grande influência desta variável nas três respostas. A concentração do cloreto férrico foi testada na faixa de 20 a 260 mg.L<sup>-1</sup>. Nos gráficos da Figura 5.3 está ilustrado o comportamento dos parâmetros DQO, turbidez e cor aparente em função da concentração de coagulante.



**Figura 5.3 – Dados de DQO, turbidez e cor aparente em função da concentração de coagulante cloreto férrico**

Lote 2 de efluente.

O aumento da concentração de coagulante no tratamento (Figura 5.3), resultou na redução nas três respostas. Nas concentrações de 50 mg.L<sup>-1</sup> e 140 mg.L<sup>-1</sup>, a turbidez e a cor aparente apresentaram uma queda um pouco mais acentuada. Por este motivo, os ensaios foram refeitos nestas concentrações e também em 120 mg.L<sup>-1</sup>. Os resultados estão mostrados na Tabela 5.10, e comprovam que não houve diferença estatisticamente significativa entre a menor e a maior concentração. Assim, adotou-se a menor concentração (50 mg.L<sup>-1</sup>) para os ensaios seguintes. Os valores das melhores condições experimentais de coagulação com cloreto férrico estão mostrados na Tabela 5.11.

**Tabela 5.10 – Dados de DQO, turbidez e cor aparente em função da concentração de coagulante cloreto férrico**

Concentração de coagulante (mg.L <sup>-1</sup> )	50	120	140
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	115,2 <sup>a</sup>	132,9 <sup>a</sup>	120,2 <sup>a</sup>
Turbidez (UNT)	8 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
Cor aparente (UC)	134 <sup>a</sup>	131 <sup>a</sup>	131 <sup>a</sup>

Letras diferentes na mesma linha representam médias diferentes entre si (Teste de Tukey,  $p \leq 0,05$ ). Lote 2 de efluente.

**Tabela 5.11 – Variáveis independentes e seus melhores valores definidos para os ensaios seguintes de coagulação - tratamento com cloreto férrico**

Variável	Valor ótimo
Concentração de coagulante (mg.L <sup>-1</sup> )	50,0
pH	7,8
Velocidade de mistura rápida (rpm)	100
Tempo de mistura rápida (s)	10
Velocidade de mistura lenta (rpm)	15
Tempo de mistura lenta (min)	10
Tempo de sedimentação (min)	5

#### 5.4 AUXILIARES DE COAGULAÇÃO

O Tanfloc<sup>®</sup> e a quitosana foram testados como auxiliares de coagulação na presença de cloreto férrico como coagulante, nas mesmas condições de tratamento definidas anteriormente para o cloreto (Tabela 5.11), com concentração 50 mg.L<sup>-1</sup> para o coagulante. Os resultados são mostrados nas Tabelas 5.12 e 5.13, para o Tanfloc<sup>®</sup> e a quitosana, respectivamente.

**Tabela 5.12 – Ensaio para definição da concentração de auxiliar de coagulação – Tanfloc®**

Auxiliar de coagulação (mg.L <sup>-1</sup> )	DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Turbidez (UNT)	Cor aparente (UC)
5	93 <sup>b</sup>	10 <sup>b</sup>	157 <sup>b</sup>
10	90 <sup>b</sup>	10 <sup>b</sup>	173 <sup>ab</sup>
15	114 <sup>a</sup>	11 <sup>a</sup>	188 <sup>a</sup>
30	96 <sup>ab</sup>	11 <sup>a</sup>	181 <sup>ab</sup>
50	95 <sup>ab</sup>	9 <sup>c</sup>	166 <sup>ab</sup>

Letras diferentes na mesma coluna representam médias diferentes entre si (Teste de Tukey,  $p \leq 0,05$ ). Lote 2 de efluente.

**Tabela 5.13 – Ensaio para definição da concentração de auxiliar de coagulação - quitosana**

Auxiliar de coagulação (mg.L <sup>-1</sup> )	DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Turbidez (UNT)	Cor aparente (UC)
5	107 <sup>d</sup>	11 <sup>d</sup>	155 <sup>ab</sup>
10	150 <sup>c</sup>	14 <sup>c</sup>	166 <sup>ab</sup>
15	162 <sup>c</sup>	16 <sup>b</sup>	172 <sup>a</sup>
30	205 <sup>b</sup>	10 <sup>e</sup>	146 <sup>b</sup>
50	339 <sup>a</sup>	17 <sup>a</sup>	174 <sup>a</sup>

Letras diferentes na mesma coluna representam médias diferentes entre si (Teste de Tukey,  $p \leq 0,05$ ). Lote 2 de efluente.

De um modo geral, a elevação da concentração dos auxiliares também elevou os valores das respostas, o que não é desejável, e, portanto, conforme os resultados, definiu-se que a melhor concentração para os auxiliares foi de 5 mg.L<sup>-1</sup> (para ambos) para comparação com tratamento envolvendo somente o cloreto férrico. Os ensaios realizados com uso de auxiliares de coagulação apresentaram valores maiores nas respostas analisadas em relação ao tratamento somente com cloreto férrico (Tabela 5.14). Deste modo, não foram encontradas vantagens no uso destes auxiliares na redução das respostas, não tendo sido, assim, realizadas demais análises. Contudo, quanto ao aspecto do efluente tratado com a quitosana como auxiliar, foi observado que ela contribuiu para a formação de flocos maiores.

**Tabela 5.14 - Comparação de desempenho entre tratamentos realizados com cloreto férrico como coagulante, e com e sem auxiliares de coagulação**

Cloreto férrico 50 mg.L <sup>-1</sup>	DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Turbidez (UNT)	Cor aparente (UC)
Sem auxiliar de coagulação	79,8 <sup>b</sup>	9 <sup>c</sup>	160 <sup>a</sup>
Com Tanfloc <sup>®</sup> 5 mg.L <sup>-1</sup>	93,0 <sup>a</sup>	10 <sup>b</sup>	157 <sup>a</sup>
Com quitosana 5 mg.L <sup>-1</sup>	107,0 <sup>a</sup>	11 <sup>a</sup>	155 <sup>a</sup>

Letras diferentes na mesma coluna representam médias diferentes entre si (Teste de Tukey,  $p \leq 0,05$ ). Lote 2 de efluente.

## 5.5 ANÁLISES COMPLEMENTARES NA CONDIÇÃO ÓTIMA PARA TANFLOC<sup>®</sup> E CLORETO FÉRRICO

Na Tabela 5.15 estão mostradas todas as análises realizadas após tratamento com Tanfloc<sup>®</sup>, e também com cloreto férrico, ambos em condição ótima. Para o Tanfloc<sup>®</sup>, foram aplicados dois pHs adicionais, além do pH ótimo, pois foi evidenciado o fenômeno de flotação neste valor ótimo (discutido neste mesmo item, adiante).

**Tabela 5.15 – Demais análises realizadas sobre o efluente tratado com cloreto férrico e com Tanfloc<sup>®</sup> em condições ótimas e em diferentes pHs**

Análise	Tanfloc <sup>®</sup>			Efluente de estudo	Cloreto férrico	Efluente de estudo
	pH 5,25	pH 6,50	pH 7,75			
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	95 <sup>a</sup>	78 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>	179	80 <sup>a</sup>	174
Turbidez (UNT)	2 <sup>c</sup>	2 <sup>c</sup>	8 <sup>b</sup>	58	9 <sup>a</sup>	63
Cor aparente (UC)	46 <sup>b</sup>	51 <sup>b</sup>	150 <sup>a</sup>	228	141 <sup>a</sup>	311
Cor real (UC)	41 <sup>b</sup>	46 <sup>b</sup>	130 <sup>a</sup>	125	125 <sup>a</sup>	150
DBO (mg.L <sup>-1</sup> )	60 <sup>ab</sup>	54 <sup>b</sup>	66 <sup>a</sup>	81	61 <sup>ab</sup>	82
COT (mg.L <sup>-1</sup> )	21 <sup>b</sup>	24 <sup>b</sup>	26 <sup>ab</sup>	45	30 <sup>a</sup>	47
Fósforo total (mg.L <sup>-1</sup> )	110 <sup>a</sup>	110 <sup>a</sup>	97 <sup>b</sup>	127	79 <sup>c</sup>	127
Ferro ferroso (mg.L <sup>-1</sup> )	-	-	-	-	0,65	0,17

DQO: demanda química de oxigênio; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; COT: carbono orgânico total; UNT: unidade nefelométrica de turbidez; UC: unidade de cor.

Ensaio realizado com Tanfloc<sup>®</sup> em: velocidade de mistura rápida = 100 rpm, tempo de mistura rápida = 1 min, velocidade de mistura lenta = 15 rpm, tempo de mistura lenta = 10 min, tempo de sedimentação = 10 min.

Ensaio realizado com cloreto férrico em: velocidade de mistura rápida = 100 rpm, tempo de mistura rápida = 10 seg, velocidade de mistura lenta = 15 rpm, tempo de mistura lenta = 10 min, tempo de sedimentação = 5 min.

Letras diferentes na mesma linha indicam médias diferentes entre si (Teste de Tukey,  $p \leq 0,05$ ). Lote 2 de efluente.

Em linhas gerais, a elevação do pH no tratamento com Tanfloc<sup>®</sup> promoveu menor redução de turbidez e cor aparente. Em ambos os pHs ácidos, a redução destas duas respostas foi satisfatória, cerca de 96% para turbidez e 78% para cor aparente, e a turbidez residual do efluente foi de apenas 2 UNT. Em pH básico a redução foi de 86% para turbidez e 34% para cor aparente.

Com relação à cor real, esta apresentou valores menores que os da cor aparente, mas manteve o comportamento desta para os diferentes tratamentos. Essa diminuição era esperada, pois, com a centrifugação, houve a retirada de turbidez do líquido, um interferente que contribui para o aumento da cor aparente em relação à real. O tratamento com cloreto férrico foi o menos eficiente na redução de cor, houve redução de cor real de 17% apenas. Dentre os tratamentos com Tanfloc<sup>®</sup>, a redução de cor real foi a máxima possível em ambos os pHs ácidos, cerca de 65%. Em pH básico, houve um ligeiro aumento da cor real no efluente tratado em relação ao efluente de estudo.

A redução da DQO foi satisfatória com ambos os coagulantes. Os valores medidos para os quatro tratamentos não diferiram estatisticamente entre si, tendo sido a redução média de DQO de 50% em relação aos controles. Todos os ensaios apresentaram baixa redução de DBO, sugerindo baixa fração de biodegradáveis no efluente. O tratamento em pH 6,5 promoveu redução de 33% de DBO, tendo sido a máxima redução conseguida para a resposta.

A análise de fósforo total demonstrou que o tratamento com Tanfloc<sup>®</sup> em pH básico favoreceu maior remoção deste poluente, 24% contra 13% de ambos os pHs ácidos. O tratamento com cloreto férrico foi mais eficaz que o Tanfloc<sup>®</sup>, sendo a redução do poluente de 38%. Baccarin et al. (2013) testaram o uso de cloreto férrico na remoção de P-total de efluente sanitário, aplicando concentrações entre 100 e 250 mg.L<sup>-1</sup> do coagulante, e conseguiram remoção do poluente entre 32% e 81%. Quanto ao teor de ferro ferroso, o efluente tratado com o cloreto férrico teve o teor deste metal elevado em quatro vezes. A presença de ferro na água possibilita o aparecimento de bactérias ferruginosas nocivas, além de acrescentar gosto e odor à água, portanto o aumento do teor de ferro na água não é desejável (PIVELI, sem data).

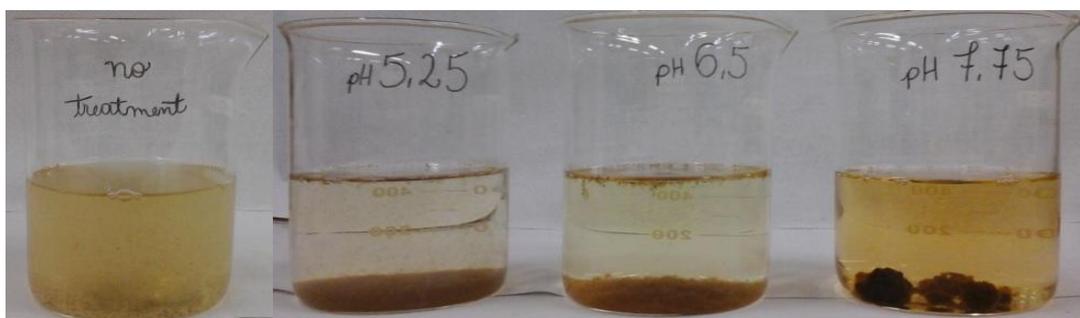
A análise de COT, diferentemente da análise de DQO, não contabiliza os compostos inorgânicos presentes no efluente. Na Tabela 5.16 está mostrada a relação COT/DQO, razão que expressa a eficiência do tratamento na eliminação de

matéria orgânica. Observa-se que o Tanfloc<sup>®</sup> apresentou menor razão COT/DQO, o que demonstra maior efetividade deste coagulante, em especial em pH 5,2, na remoção de matéria orgânica do efluente.

**Tabela 5.16 – Relação COT/DQO para o efluente tratado com Tanfloc<sup>®</sup> e também com cloreto férrico, ambos em condição ótima**

COT/DQO	Tanfloc <sup>®</sup>			Controle	Cloreto férrico	Controle
	pH 5,25	pH 6,50	pH 7,75			
	0,22	0,31	0,29	0,25	0,38	0,27

Na Figura 5.4 são apresentados os efluentes dos três ensaios realizados na condição ótima para o Tanfloc<sup>®</sup> (apenas o pH foi alterado entre elas) e também o efluente de estudo. O intuito foi evidenciar a ocorrência, neste caso, indesejável, do fenômeno de flotação nos ensaios em pH 6,5. Durante a realização dos ensaios do DCCR neste pH, observou-se a formação de espuma e, como consequência da interação entre espuma e flocos, parte dos flocos formados ficou aderida à superfície do efluente, como no fenômeno de flotação, onde bolhas de ar tornam a densidade do conjunto bolha-floco baixa o suficiente para ocorrer a sua flutuação (THOMPSON JR, 2005).



**Figura 5.4 - Aspecto do efluente tratado com Tanfloc<sup>®</sup> em condição ótima, em diferentes pHs. À esquerda, o efluente de estudo para comparação**

Também é possível observar que a formação de flocos é satisfatória em pH básico, os flocos são grandes e sedimentam rapidamente. A cor mais intensa é observada no ensaio de pH básico, o que condiz com as respostas de cor medidas (Tabela 5.15). Em pH 6,5, parte dos flocos que se formam fica agregada à superfície do líquido, não sedimentando. Observou-se durante os ensaios que, quanto maior a concentração de coagulante, maior a porção de flocos aderida à superfície. Tal fenômeno não é desejável porque compromete a retirada de matéria orgânica por sedimentação.

Em pH ácido, a redução de cor é a maior possível. Se o principal objetivo for reduzir cor, aconselha-se a aplicação do tratamento em pH ácido. Nesta condição a redução de turbidez também é muito boa, embora os flocos formem-se pequenos e de aspecto gelatinoso. Alguns não chegam a sedimentar, dando a impressão de acentuada turbidez, entretanto os resultados mostram que o tratamento é eficiente na redução desta resposta.

## 6 CONCLUSÕES

O produto comercial à base de taninos é um excelente coagulante, tendo promovido boa formação de flocos, em especial em pH básico (7,75). A turbidez apresentou redução excelente em toda a faixa de pH estudada, entretanto a cor apresentou redução consideravelmente menor em pH básico. O pH 6,5 não é recomendado se o processo depender de sedimentação para remoção dos flocos, pois, em laboratório, ocorreu o fenômeno de flotação com parte dos flocos formados.

A quitosana não proporcionou redução de matéria orgânica no efluente de estudo. Pelo contrário, sua aplicação apenas elevou o valor da DQO no efluente tratado. A turbidez reduziu significativamente quando foi alterado o pH do efluente de 4,0 para 7,8, independente de haver o uso da quitosana no tratamento, indicando que a redução desta resposta foi influenciada primordialmente pela alteração de pH. O valor da cor aparente não foi reduzido com os tratamentos, manteve-se similar à cor aparente do controle, e ainda em pH 4,0 a resposta foi elevada acima do valor do efluente de estudo. Tais resultados indicam que a quitosana não apresentou bom desempenho como coagulante nas condições testadas.

O cloreto férrico apresentou desempenho inferior ao Tanfloc<sup>®</sup> em quase todos os parâmetros analisados. O coagulante químico mostrou-se mais eficiente apenas na redução de fósforo total, reduzindo o valor deste em 35%, em comparação aos 26% do Tanfloc<sup>®</sup>.

Os resultados mostraram que o Tanfloc<sup>®</sup> desempenhou muito bem o papel de coagulante primário, substituindo, com vantagens, o cloreto férrico no tratamento de coagulação, floculação e sedimentação do efluente de estudo.

## REFERÊNCIAS

\_ a Associação Brasileira de Proteína Animal – ABPA. Disponível em: <http://abpa-br.com.br>. Acesso em 06/06/2017.

\_ b Associação Brasileira de Proteína Animal – ABPA. **Relatório Anual**, 136 p. Acesso online em <http://abpa-br.com.br/setores/avicultura/publicacoes/relatorios-anuais/2016>. 2016.

APHA – American Public Health Association; AWWA – American Water Works Association; WEF – Water Environment Federation. **Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22<sup>a</sup> edição, impresso nos EUA, 2012.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Preservação e Técnicas de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores - **NBR 9898**, impresso no Brasil, 22 p., junho de 1987.

BACCARIN, Lindsay I. P.; HEMKEMEIER, Marcelo; MENEGAZ, Rosdaéli C.; BACCARIN, Sidnei D. *Pós-tratamento físico-químico de efluente sanitário para remoção de fósforo com sais inorgânicos*. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v. 13 (2), p. 39-49, 2013.

BARROS NETO, Benício de; SCARMINIO, Ieda S.; BRUNS, Roy E. **Como Fazer Experimentos** – Pesquisa e Desenvolvimento na Ciência e na Indústria. Editora Bookman, 4<sup>a</sup> ed., Porto Alegre, 2010.

BELTRÁN-HEREDIA, J.; SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; SOLERA-HERNÁNDEZ, C. Removal of dodecyl benzene sulfonate from water by means of a new tannin-based coagulant: optimization studies through design of experiments. **Chemical Engineering Journal**, v. 153, p. 56-61, 2009.

CAMMAROTA, Magali C. **Tratamento de Efluentes Líquidos**. Notas de aula, 3<sup>a</sup> versão, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 72 p., 2011.

CAVALCANTI, José Eduardo W. de A. **Manual de Tratamento de Efluentes Industriais**. 2<sup>o</sup> edição ampliada, Engenho Editora Técnica Ltda, 2012.

CHEBA, Ben A. Chitin and Chitosan: Marine Biopolymers with Unique Properties and Versatile Applications. **Global Journal of Biotechnology & Biochemistry**. V. 6 (3), p. 149-153, 2011.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). **Guia Técnico Ambiental de Abate (bovino e suíno)** – Série P + L, Governo do Estado de São Paulo, 2006.

CORAL, L. A.; BERGAMASCO, R.; BASSETTI, F. J. Estudo da Viabilidade de Utilização do Polímero Natural (TANFLOC) em Substituição ao Sulfato de Alumínio no Tratamento de Águas para Consumo. **2<sup>nd</sup> International Workshop Advances in Cleaner Production**, Florianópolis, SC-Brasil, 2009.

CORRAR, Luiz J.; PAULO, Edilson; DIAS FILHO, José Maria. **Análise Multivariada** – Para os cursos de administração, ciências contábeis e economia. Editora Atlas, reimpressão, 541 páginas, 2007.

DAMIAN, César; BEIRÃO, Luiz H.; FRANCISCO, Alicia de; ESPÍRITO SANTO, Milton L. P.; TEIXEIRA, Evanilda. Quitosana: um amino polissacarídeo com características funcionais. **Alimentos e Nutrição Araraquara**.v. 16, n. 2, p. 195-205, 2005.

DERRINGER, G., SUICH, R. Simultaneous Optimization of Several Response Variables. **Journal of Quality Technology**, v. 12 (4), p. 214-219, 1980.

DI BERNARDO, Luiz; DI BERNARDO, Angela; CENTURIONE FILHO, Paulo Luiz. **Ensaio de Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. 1ª edição, São Carlos, Editora RiMa, 2002.

GOY, Rejane C.; ASSIS, Odilio B. G.; CAMPANA FILHO, Sérgio P. Produção esferas de quitosana. **Revista Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**. V. 33, julho/dezembro, 2004.

GRAHAM, Nigel; GANG, Fang; Fowler, Geoffrey; WATTS, Mark. Characterisation and coagulation performance of a tannin-based cationic polymer: A preliminary assessment. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects**, v. 327, p. 9–16, 2008.

GUZMÁN, Luis; VILLABONA, Ángel; TEJADA, Candelaria; GARCÍA, Rafael. Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. **Revista U.D.C. A Actualidad & Divulgación Científica**, v. 16 (1), p. 253 – 262, 2013.

HACH, Company. **DR 2800 Spectrophotometer – Procedures Manual**. Catálogo de número DOC022.53.00725, 2ª Edição, 2007.

JANEGITZ, Bruno C.; LOURENÇÃO, Bruna C.; LUPPETI, Karina O.; FATIBELLO-FILHO, Orlando. Desenvolvimento de um método empregando quitosana para remoção de íons metálicos de águas residuárias. **Química Nova**, v. 30, n. 4, p. 879-884, 2007.

JORDÃO, Eduardo P.; PESSÔA, Constantino A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 3ª edição, Editora ABES, 1995.

KAWAHARA, Masahiro; KATO-NEGISHI, Midori. Link between Aluminum and the Pathogenesis of Alzheimer's Disease: The Integration of the Aluminum and Amyloid Cascade Hypotheses. **International Journal of Alzheimer's Disease**, v. 2011, 17pgs, 2011.

KUMAR, Majeti N. V. R. A review of chitin and chitosan applications. **Reactive & Functional Polymers**, v. 46, p. 1-27, 2000.

LARANJEIRA, Mauro C. M.; FÁVERE, Valfredo T. de. Quitosana: biopolímero funcional com potencial industrial biomédico. **Química Nova**, Vol. 32, No. 3, p. 672-678, 2009.

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.

NAIR, V., PANIGRAHY, A., VINU, R. Development of novel chitosan-lignin composites for adsorption of dyes and metal ions from wastewater. **Chemical Engineering Journal**, v. 254, p. 491-502, 2014.

NEVES, Ludmila; MANAGÓ, Bruna Luiza; CAVALLINI, Grasielle Soares; VIDAL, Carlos Magno de Souza; de Souza, Jeanette Beber. Aplicação de coagulante natural á base de tanino na coagulação/floculação para tratamento de efluente de indústria de papel e celulose. **The 47<sup>th</sup> ABTCP International Pulp and Paper Congress**, p. 7-9. 2014, Brasil, 2014.

NNAJI, N. J. N.; ANI, J. U.; ANEKE, L. E.; ONUKWULI, O. D.; OKORO, U. C.; UME, J. I. Modelling the coag-flocculation kinetics of cashew nut testa tannins in an industrial effluent. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 20, p. 1930–1935, 2014.

NUNES, José Alves. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 3º edição revista e ampliada, Editora Triunfo LTDA, 2001.

NUVOLARI, Ariovaldo (coordenação). Co-autores: NUVOLARI, Ariovaldo; TELLES, Dirceu D'A.; RIBEIRO, José T.; MIYASHITA, Nelson J.; RODRIGUES, Roberta B.; ARAUJO, Roberto de. **Esgoto Sanitário** – Coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola. Capítulo 7 – O lançamento in natura e seus impactos (A. Nuvolari), 2ª edição, Editora Edgar Blucher LTDA, 2007.

PHILIPPI JR, Arlindo. **Saneamento, Saúde e Ambiente** – Fundamentos para um desenvolvimento sustentável. 1 edição, Barueri, SP, editora Manole Ltda, 2005.

PITAKPOOLSIL, Wipawan; HUNSOM, Mali. Adsorption of pollutants from biodiesel wastewater using chitosan flakes. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**..v 44, p. 963-971, 2013.

PIVELI, Roque P. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. Curso, aula 8, sem data.

RABELO, Mariane H. S.; SILVA, Eric K.; PERES, Alexandre de P. Análise de Modos e Efeitos de Falha na avaliação dos impactos ambientais provenientes do abate animal. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19 (1), 2014.

RICHTER, Carlos A. **Água** – Métodos e Tecnologias de Tratamento. 1 ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 2009.

RINAUDO, Marguerite. Chitin and chitosan: Properties and applications. **Progress in Polymer Science**, v. 31, p. 603-632, 2006.

ROBERTS, G. A. F.; **Chitin Chemistry**, Mac Millan Press Ltd: London, p. 1-350, 1992.

RODRIGUES, Maria I.; IEMMA, Antonio F. **Planejamento de Experimentos e Otimização de Processos**. Editora Casa do Pão, 3ª ed., Campinas, SP, 2014.

RONDEAU, V.; JACQMIN-GADDA, H.; COMMENGES, D.; HELMER, C.; DARTIQUES, J. F. Aluminum 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 Epidemiology**, v. 169(4), p. 489-496, 2009.

SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; BELTRÁN-HEREDIA, J.; SOLERA-HERNÁNDEZ, C. Surface water and wastewater treatment using a new tannin-based coagulant. Pilot plant trials. **Journal of Environmental Management**, v. 91, p. 2051-2058, 2010.

SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; GONZÁLEZ-VELASCO, M.; BELTRÁN-HEREDIA, J. Surface water treatment with tannin-based coagulants from Quebracho (*Schinopsis balansae*). **Chemical Engineering Journal**, v. 165, p. 851-858, 2010.

SANT'ANNA Jr., Geraldo L. **Tratamento biológico de efluentes: fundamento e aplicações**. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 418 p., 2010.

SANTOS, Jordana D. dos; VEIT, Marcia T.; HASAN, Salah D. M; GONÇALVES, Gilberto da C.; FAGUNDES-KLEN, Marcia R. Aplicação do planejamento experimental Plackett & Burman para avaliação do processo de coagulação-floculação em efluente de fecularia. **V Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção**, Ponta Grossa, PR-Brasil, 2015.

SCARASSATI, Deividy; CARVALHO, Rogério F. de; DELGADO, Viviane de L.; CONEGLIAN, Cassiana M. R.; BRITO, Núbia N. de; TONSO, Sandro; SOBRINHO, Geraldo D.; PELEGRINI, Ronaldo. Tratamento de efluentes de matadouros e frigoríficos. **III Fórum de Estudos Contábeis**, Faculdades Integradas Claretianas – Rio Claro – SP, 2003.

THOMPSON JUNIOR, José Pedro. **Passando a Limpo** – A flotação por ar dissolvido no tratamento de efluentes industriais. 1º edição, Paco Editorial, 2015.

VAKILI, Mohammadtaghi et al. Application of chitosan and its derivatives as adsorbents for dye removal from water and wastewater: A review. **Journal of Carbohydrate Polymers**. V. 113, p. 115-130, 2014.

VALVERDE, Karina C.; COLDEBELLA, Priscila F.; NISHI, Letícia; CAMACHO Franciele P.; MORETI, Lívia de O. R.; BERGAMASCO, Rosângela. Otimização dos parâmetros de mistura e sedimentação utilizando a associação dos coagulantes pac e Moringa Oleifera lam no tratamento de água superficial. **VIII Encontro Internacional de Produção Científica**. Maringá, Paraná, 22 a 25 de outubro de 2013.

VIJAYARAGHAVAN, G.; SIVAKUMAR, T.; KUMAR, A. V. Application of plant based coagulants for waste water treatment. **International Journal of Advanced Engineering Research and Studies**, v.1, p. 88-92, 2011.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. Vol. 1. 2ª edição revisada. Brasil, editora SEGRAC (UFMG), 1996.

WOLF, Gabriele; SCHNEIDER, Roselene Maria; BONGIOVANI, Milene Carvalho; ULIANA, Eduardo Morgan; do AMARAL, Adriana Garcia. Application of coagulation/Flocculation Process of Dairy Wastewater from Conventional Treatment Using Natural Coagulant for Reuse. **Chemical Engineering Transactions**. V. 43, 2015.

ANEXO A– Ficha técnica do coagulante Tanfloc SG<sup>®</sup>



# 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
- Floculante
- 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 ou containeres de 1000 kg.

**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
pH (xarope)	1,3 - 2,3	-
pH (sol. aq. 10% p/v)	-	1,8 – 2,7

\*Solvente: exclusivamente água.

#### 4. PROPRIEDADES

**TANFLOC SG** atua em sistemas de partículas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre estas partículas, sendo este o processo responsável pela formação de flocos e conseqüente sedimentação.

**TANFLOC SG** não altera o pH da água tratada, por não consumir a alcalinidade do meio, ao mesmo tempo em que é efetivo em uma faixa de pH de 4,5 – 8,0.

#### 5. APLICAÇÃO

**TANFLOC SG** pode ser aplicado diretamente, quando na forma líquida, ou sob a forma de uma solução diluída, sozinho ou em combinação com outros agentes como Sulfato de Alumínio, Cloreto Férrico, etc.

Recomenda-se **TANFLOC SG** nas seguintes áreas de aplicação:

- Efluentes de metalurgia, papel e papelão, curtumes, indústrias alimentícias e químicas, em tratamento primário e secundário.
- Efluentes petroquímicos, no tratamento secundário de sistemas integrados.
- Indústria cerâmica, na recuperação de esmaltes e separação de argilas.
- Efluentes de abatedouros de aves, no processo de flotação.
- Tratamento de água de abastecimento, em plantas convencionais e compactas.

#### 6. ESTOCAGEM

**TANFLOC SG** mantém suas características de coagulante e/ou floculante e auxiliar de coagulação inalteradas, quando estocado em ambiente seco, ventilado, protegido da luz solar e em embalagem fechada.

Condições inadequadas de armazenagem, como ambientes sujeitos a altas temperaturas e/ou períodos prolongados, poderão causar alterações nas características físicas do produto, como o incremento da viscosidade. Entretanto, mesmo podendo não acarretar uma perda na performance do produto, tais fatores devem ser evitados.

#### REGISTRO NO MINISTÉRIO DA SAÚDE:

Produto não passível de registro no Ministério da Saúde, conforme Ofício nº 205/99-GGSAN/ANZA/MS, de 27/09/99, Processo nº 25025-003041/98

As sugestões e recomendações se baseiam em nossas experiências, mas não se constituem em uma garantia de nossa parte. Nossos clientes deverão ajustar convenientemente os produtos aconselhados às suas condições de trabalho, bem como aos outros produtos empregados durante o processo. As sugestões acima são dadas a título informativo.

Revisão: AM0612