

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

**CRISLAINE TREVISAN DA ROCHA RIBEIRO FERRARI**

**USO DE COAGULANTES NATURAIS NO TRATAMENTO DE  
EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS**

**DISSERTAÇÃO**

**MEDIANEIRA - PARANÁ**

**2015**

**CRISLAINE TREVISAN DA ROCHA RIBEIRO FERRARI**

**USO DE COAGULANTES NATURAIS PARA O TRATAMENTO DE  
EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Tecnologia em 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 - PARANÁ**

**2015**

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.” (Theodore Roosevelt).

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por me dar força interior para superar os momentos de angústia e incertezas.

Às Professoras Aziza e Daiane, por terem acreditado em mim, pela disponibilidade, pela orientação e contribuição científica e principalmente pelos exemplos profissionais.

Aos meus pais, José Roberto e Maria de Lourdes, que sempre acreditaram em mim e me incentivaram a seguir na vida acadêmica, dedico esta conquista à vocês.

Ao meu esposo, Thiago Ferrari, pelo apoio incondicional, me fazendo acreditar que consigo alcançar meus objetivos com carinho, disponibilidade, paciência e compreensão.

Aos meus amigos e colegas do mestrado e de laboratório, pelo compartilhamento de informações e auxílio nas atividades.

A todos os professores do Programa de Pós Graduação do Mestrado de Tecnologia de Alimentos, que contribuíram para a minha formação.

Agradeço também à CAPES, pelo apoio financeiro.

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COT	Carbono orgânico total
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DCCR	Delineamento composto central rotacional
DQO	Demanda química de oxigênio
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NTU	Unidade nefelométrica de turbidez
OH	Radical hidroxilo
pH	Potencial hidrogeniônico
Rpm	Rotações por minuto

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>10</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>11</b>
<b>4 USO DE COAGULANTES NATURAIS EM SUBSTITUIÇÃO AO CLORETO FÉRRICO .....</b>	<b>33</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>63</b>
<b>6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nas indústrias frigoríficas são utilizadas grandes quantidade de água durante todo o processo, como na higienização de equipamentos, sala/ambientes dentro da indústria, locais de recepção dos animais e lavagem das carcaças, sendo que a quantidade de água disponível para o abate é de 850 litros por suíno abatido, definido pelo Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária - MAPA, na Portaria nº 711, de 1º de novembro de 1995 (BRASIL, 1995).

Um dos processos utilizados para o tratamento dos efluentes é a coagulação, sendo utilizado para remoção da cor, turbidez e matéria orgânica natural (BUDD ET AL., 2004; DA SILVA ET AL., 2004; HASSEMER ET AL., 2002; HUANG ET AL., 2009; LEIKNES, 2009).

Dentre os coagulantes mais comumente utilizados estão os de origem inorgânica como o sulfato de alumínio, cloreto férrico, hidroxiclreto de alumínio, sulfato férrico e sulfato ferroso clorado, e, outros de origem orgânica, também conhecidos como polieletrólitos, como por exemplo, o extrato de semente de moringa, tanino e quitosana (PAVANELLI, BERNARDO, 2002; MATOS et al., 2007; BONGIOVANI et al., 2010).

Os coagulantes naturais têm demonstrado vantagens em relação aos coagulantes químicos, especificamente em relação à biodegradabilidade, baixa toxicidade e baixo índice de produção de lodos residuais (MORAES, 2004).

Este trabalho justifica-se pela busca de tecnologias limpas para o tratamento de efluentes, permitindo assim a produção de alimentos de forma sustentável e com responsabilidade ambiental.

## REFERÊNCIAS

BONGIOVANI M. C., KONRADT-MORAES L. C., BERGAMASCO R., LOURENÇO B. S. S. E TAVARES C. R. G. Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para a obtenção de água potável. **Acta Scientiarum. Technology**. Maringá, v. 32, n. 2 p. 167-170, 2010.

BUDD, G. C., HESS, A. F., SHORNEY-DARBY, H., NEEMANN, J., SPENCER, C. M., BELLAMY, J. D., HARGETTE, P. H. Coagulation applications for new treatment goals. **Journal of American Water Works Association**, 96:2, p. 102-113, Feb. 2004.

BRASIL. MAPA - Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. **Portaria Nº 711, de 1º de novembro de 1995**. Acesso em: 23 de novembro de 2013.

DA SILVA, M. R. A.; OLIVEIRA, M. C.; NOGUEIRA, R. F. P. Estudo da aplicação do processo foto-fenton solar na degradação de efluentes de indústria de tintas. **Eclética Química**, v. 29, p. 19-25. 2004.

HASSEMER, M. A.N.; SENS, M. L. Tratamento do efluente de uma indústria têxtil. Processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 30-36, 2002.

HUANG, H.; SCHWAB, K.; JACANGELO, J. G. Pretreatment for low pressure membranes in water treatment: a review. **Environmental Science and Technology** 43, p. 3011-3019, 2009.

LEIKNES, T. O. The effect of coupling coagulation and flocculation with membrane filtration in water treatment: a review. **Journal of Environmental Sciences** 32 (1), 8 e 12, 2009.



MATOS, A. T.; CABANELLAS, C. F. G.; MUDADO, C. S.; BRASIL, M. S.; CECON, P. R. Efeito da concentração de coagulantes e do pH da solução na turbidez da água, em recirculação, utilizada no processamento dos frutos do cafeeiro. **Scielo - Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, vol.27, n.2, 2007.

MORAES, L. C. K. **Estudo da coagulação-ultrafiltração com o biopolímero quitosana para a produção de água potável**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá. 2004.

PAVANELLI, G.; BERNARDO, L. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com turbidez elevada e cor verdadeira baixa**. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Vitória, 2002.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o emprego de coagulantes naturais Tanfloc SG<sup>®</sup> e quitosana como alternativa ao cloreto férrico no processo de coagulação para o tratamento de efluente industrial de abatedouro-frigorífico após o tratamento primário.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Caracterizar o efluente quanto às características físicas e químicas.
- II. Determinar as condições ótimas para cada coagulante no tratamento do efluente em estudo.
- III. Avaliar a eficiência dos tratamentos com uso dos diferentes coagulantes, em estudo, por meio da avaliação de remoção de DQO.
- IV. Comparar a eficiência do tratamento do efluente com o uso de coagulantes naturais com o cloreto férrico.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo corresponde ao referencial teórico, apresentado pelo artigo de revisão bibliográfica, submetido à Revista de Ciências Agrárias.

#### **Uso de coagulantes naturais no tratamento de efluente da indústria de alimentos em substituição ao cloreto férrico**

**Resumo** – Com o aumento da população mundial a produção de alimentos também tem aumentado para suprir essas necessidades. Como consequência desses fatores temos o aumento da utilização dos recursos naturais, entre eles pode-se destacar o hídrico que após ser utilizado durante todo o processo acaba gerando efluentes com alta carga poluente que se não forem devidamente tratados podem acarretar em grandes problemas ambientais. Para minimizar esse problema faz-se o tratamento destes efluentes e um dos mecanismos utilizados é a coagulação. Os agentes coagulantes podem ser de origem química como alumínio ou ferro, ou de origem natural, também chamados de polieletrólitos, como moringa, quitosana e tanino. As vantagens da utilização dos polieletrólitos são inúmeras, pois podem ser utilizadas em tratamento de efluentes de vários segmentos da indústria, tratamento de esgotos domésticos e até mesmo para tratamento de água potável, além de apresentarem menor custo, maior eficiência e, menor volume de lodo gerado comparado com os coagulantes de origem química, além de menor toxicidade podendo ser descartado mais facilmente e, até mesmo, ser utilizado na agricultura como fertilizante.

**Palavras-chaves:** cloreto férrico; moringa; polieletrólitos; quitosana; tanino.

**Abstract:** With increasing of world population food production has also increased to supply these needs. As a result of these factors have increased the use of natural resources, among them can be highlight that water after being used throughout the process eventually generates effluents with high pollutant load which if not properly treated can result in major environmental problems . To minimize this problem is used the treatment of these effluents and one of the mechanisms used is coagulation. The coagulants agents can be of chemical origin such as aluminum or iron , or natural origin , also called polyelectrolytes , such as moringa, chitosan and

tannin. The advantages of using polyelectrolytes are numerous, they can be used in the effluents treatment from various industries, wastewater treatment and even drinking water treatment , in addition to their lower cost, higher efficiency, the lower volume of the sludge generated compared with the chemical coagulant , also its lower toxicity enables easier discharge and may even be used in agriculture as fertilizer.

**Keywords:** ferric chloride; moringa ; polieletrólitos ; chitosan ; tannin.

## INTRODUÇÃO

A preocupação ambiental está cada vez mais difundida. E neste mesmo cenário tem-se o aumento da população mundial, que cada vez mais carece da crescente demanda por produtos beneficiados e industrializados, cuja produção requer grandes volumes de recursos naturais sendo o principal recurso utilizado, o hídrico. Este recurso, que após a utilização ao longo do processamento e beneficiamento, retorna aos corpos receptores, na forma de efluentes líquidos, que se não forem tratados de forma adequada podem causar a contaminação da água, prejudicando todo o meio circundante.

Os setores de industrialização e beneficiamento, a agroindústria tem-se mostrado como um importante segmento da atividade econômica mundial, destacando-se o beneficiamento animal (FERNANDES, 2007). Dentre esta atividade pode-se citar o beneficiamento de bovinos, suínos e aves como sendo os principais no Brasil. Segundo indicadores do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013) os resultados obtidos na pesquisa apresentaram um crescente aumento no abate, principalmente de bovinos, suínos e aves, desde a criação da pesquisa no ano de 1997. Conseqüentemente, tem-se a expansão da quantidade de água utilizada, encadeando no acréscimo de volume de efluente obtido ao final do processo.

Nas indústrias frigoríficas são utilizadas grandes quantidade de água durante todo o processo, como na higienização de equipamentos, sala/ambientes dentro da indústria, locais de recepção dos animais e lavagem das carcaças, sendo que a quantidade de água disponível para o abate é de 850 litros por suíno abatido, definido pelo Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária - MAPA, na Portaria Nº 711, de 1º de novembro de 1995 (BRASIL, 1995). Entretanto

um dado indicativo apontado por SCARASSATI et al. (2003) tem como base de cálculo que para abate de suínos o volume é de 1200 litros por cabeça, assim distribuídos: 300 litros na sala de matança; 400 litros nas demais dependências; 500 litros nos anexos externos.

Portanto, em função do grande volume de efluente gerado, sua contaminação e com as regulamentações ambientais, este resíduo deve, obrigatoriamente, ser tratado antes de ser destinado ao corpo receptor para não ocorrer prejuízos sanitários e ambientais. Um dos processos utilizados para o tratamento dos efluentes é a coagulação, sendo utilizado para remoção da cor, turbidez e matéria orgânica natural (BUDD et al., 2004; DA SILVA et al., 2004; HASSEMER et al., 2002; HUANG et al., 2009; LEIKNES, 2009).

Dentre os coagulantes mais comumente utilizados estão os de origem inorgânica como o sulfato de alumínio, cloreto férrico, hidroxicloreto de alumínio, sulfato férrico e sulfato ferroso clorado, e, outros de origem orgânica, também conhecidos como polieletrólitos, como por exemplo, o extrato de semente de moringa, tanino e quitosana (PAVANELLI, BERNARDO, 2002; MATOS et al., 2007; BONGIOVANI et al., 2010).

Coral, Bergamasco e Bassetti (2009) citam que o uso prolongado de sulfato de alumínio tem sido questionado devido à presença de alumínio remanescente na água tratada e no lodo gerado ao final do processo, muitas vezes em concentrações altas, dificultando assim a disposição do mesmo no solo devido a contaminação e o acúmulo deste metal.

Os coagulantes naturais têm demonstrado vantagens em relação aos coagulantes químicos, especificamente em relação à biodegradabilidade, baixa toxicidade e baixo índice de produção de lodos residuais (MORAES, 2004).

Os coagulantes inorgânicos estão, cada vez mais, sendo substituídos por produtos de origem orgânica, devido à demasiada preocupação com os recursos naturais e aos rigorosos padrões estabelecidos pelas legislações ambientais. Este trabalho justifica-se pela busca de tecnologias limpas para o tratamento de efluentes, permitindo assim a produção de alimentos de forma sustentável e com responsabilidade ambiental. O objetivo do presente trabalho é uma revisão bibliográfica das vantagens e desvantagens da utilização de cada coagulante, bem como os parâmetros pH e concentração em que se tornam mais eficientes.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### EFLUENTES DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

Os efluentes da indústria de alimentos são caracterizados por elevadas concentrações de óleos e graxas, sulfatos, nitratos e fosfatos e como consequência, possuem alta DQO e DBO. Apresentam ainda, sólidos em suspensão, material flotável, baixa biodegradabilidade, temperaturas elevadas. São altamente putrescíveis por conter sangue, tecidos diversos e gorduras, entrando em decomposição imediatamente após a sua formação, e liberando odores tão desagradáveis quanto seu aspecto, causando sérios problemas em processos anaeróbico e aeróbicos (VIDAL, 2000; JUNG et al., 2002; NAIME, GARCIA, 2005).

Segundo Scarassati et al. (2003) o efluente de frigoríficos-abatedouros de suínos caracteriza-se por DQO elevada (800 a 32.000 mg.L<sup>-1</sup>); grande presença de óleos e graxas; material flotável (gordura); alta concentração de sólidos sedimentáveis e suspensos; alta concentração de nitrogênio orgânico; presença de sólidos grosseiros; presença de microrganismos patogênicos.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, com a Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011, que complementa e altera a Resolução nº 357 de 17 de março de 2005, dispõe que o lançamento direto de efluentes de fontes poluidoras em corpos receptores, podem ser feitos somente após o devido tratamento (BRASIL, 2011).

O Conselho Estadual do Meio Ambiente – CEMA, por meio da Resolução nº 70/2009, dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios para empreendimentos industriais, que pelo Art. 11 cita que ficam definidos os padrões determinados para o lançamento de efluentes líquidos industriais de 60 mg.L<sup>-1</sup> para DBO, 200 mg. L<sup>-1</sup> para DQO e óleos e graxas de até 50mg. L<sup>-1</sup> (CEMA, 2009).

### TRATAMENTO DE EFLUENTES

O tratamento de efluentes pode ser realizado por processos físico-químicos e/ou biológicos. O tratamento por processos físicos resulta na remoção de óleos, gorduras e material grosseiro, sendo realizado com o auxílio de peneiras e caixas de

gordura. Já o tratamento biológico tem como principal função a remoção da matéria orgânica, sendo utilizado em efluentes que contenham grande quantidade de material orgânico facilmente biodegradável (NAIME; GARCIA, 2005).

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2008) e Nunes (2001) o tratamento dos efluentes de frigoríficos-abatedouros envolve, em geral, as seguintes etapas:

- Tratamento preliminar: consiste em remover apenas sólidos muito grosseiros, flutuantes e matéria mineral sedimentável. Processo realizado utilizando grades, desaneradores (caixas de areia), caixas de retenção de óleo e gorduras, peneiras.
- Tratamento primário: consiste na remoção da matéria orgânica em suspensão. Nesta etapa, a demanda biológica de oxigênio (DBO) é removida parcialmente. Os processos de tratamento utilizados são: decantação primária ou simples, precipitação química com baixa eficiência, flotação e neutralização.
- Equalização: esta etapa é realizada em um tanque em que permite absorver variações significativas de vazão e carga poluente.
- Tratamento secundário: nesta fase faz-se a remoção dos sólidos coloidais, dissolvidos e emulsionados, por meio de ação biológica devido à característica biodegradável do efluente proveniente dos tratamentos anteriores.
- Tratamento terciário ou de polimento: promove a remoção suplementar de sólidos, nutrientes e de microrganismos patogênicos.

Machado (2005) cita que o tratamento terciário faz-se necessário para que, após o tratamento, o efluente possa ser utilizado no reuso direta ou indiretamente na planta industrial. Também pode-se utilizar este tratamento no caso dos corpos receptores não tolerarem as cargas de poluentes do tratamento secundário, mesmo estando em conformidade com a legislação.

Pode-se citar como exemplos de tratamentos terciários ou de polimento:

- Tratamento eletrolítico - consiste na conversão de energia elétrica em química através da célula eletrolítica, no qual uma corrente contínua, proveniente de fonte externa, induz reações de oxido-redução não espontâneas (HEMKEMEIER et al., 2009).

- Oxidação química por:
  - Cloração – este método utiliza o cloro, que penetra nas células dos microrganismos e reage com suas enzimas destruindo-as, além de atuar na oxidação de ferro e manganês, remoção de sulfeto de hidrogênio, controle de odor, cor, sabor e remoção de algas (JORDÃO, ARRUDA, 1995; MACÊDO, 2001).
  - Ozonização – a ozonização envolve dois mecanismos de reação. O ataque direto do ozônio e o ataque através dos radicais .OH formados na decomposição do ozônio (GOGATE, PANDIT, 2004).
  
- Oxidação química por:
  - Radiação ultravioleta – a região do espectro eletromagnético que compreende a radiação UV é particularmente indicada na inativação de microrganismos, atingindo sua maior eficiência no comprimento de onda de 260 nm (SKOOG, 1994).
  
- Tecnologias por membranas, como:
  - Osmose reversa – segundo Schneider (2001), é utilizada para dessalinizar águas marinhas, águas salobras e águas de superfície. A pressão aplicada deve superar a pressão osmótica da solução para separar os sais da água.
  
  - Coagulação/Floculação – a coagulação corresponde à desestabilização da dispersão coloidal, obtida por redução das forças de repulsão entre as partículas com cargas negativas, por meio de adição de coagulantes químicos ou naturais, neste caso ocorre a mistura rápida do coagulante com o meio e, posteriormente a esta etapa, ocorre a formação dos flocos, sendo denominada floculação (PAVANELLI, 2001; SILVA, 2005).



## Coagulação

A coagulação consiste no conjunto de ações físicas e reações químicas, com duração de poucos segundos, entre o coagulante, usualmente um sal de alumínio ou de ferro, a água e as impurezas presentes, e apresenta-se em três fases: (i) formação das espécies hidrolisadas do sal quando disperso na água, (ii) desestabilização das partículas coloidais e suspensas dispersas na massa líquida e (iii) agregação dessas partículas para formação dos flocos (SANTOS et al., 2007).

Para Di Bernardo e Dantas (2005) a coagulação é resultante da ação individual ou combinada, de quatro mecanismos distintos: compressão da camada difusa, adsorção e neutralização, varredura e adsorção e formação de pontes:

- Compressão da camada difusa - quando se introduzem sais simples em um sistema coloidal ocorre o aumento da densidade de cargas na camada difusa e a diminuição da esfera de influência das partículas, ocasionando o que se chama de coagulação por compressão da camada difusa.
- Adsorção e neutralização – este mecanismo é muito importante quando se aplicam tecnologias de filtração direta, pois não há necessidade de produção de flocos para posterior sedimentação, mas de partículas desestabilizadas que serão retidas no meio granular dos filtros.
- Varredura - é muito utilizado em estações de tratamento de água em que se têm floculação e sedimentação antecedendo a filtração, ou seja, nos casos nos quais o sulfato de alumínio é aplicado.
- Adsorção e formação de pontes - este mecanismo envolve o uso de polímeros de grandes cadeias moleculares, os quais servem de ponte entre a superfície à qual estão aderidos e outras partículas.

Schoenhals, Sena e José (2006) definiram a coagulação/floculação como a provedora da desestabilização das partículas coloidais e finamente divididas, formando assim flocos maiores e mais densos, sendo possível a separação.

Santos (2004) relata que os diagramas de coagulação são ferramentas úteis para prever as condições químicas em que ocorre a coagulação e, portanto essenciais para planejar, analisar e interpretar estudos em escala de laboratório ou em escala piloto, contribuindo desta maneira para a definição da dosagem de coagulante e as condições de pH para redução da turbidez e da cor e, de outros parâmetros de interesse.

## COAGULANTES QUÍMICOS

### Cloreto Férrico

Os sais de ferro são muito utilizados como agentes coagulantes para tratamento de água. Reagem de forma a neutralizar cargas negativas dos colóides e proporcionam a formação de hidróxidos insolúveis de ferro. Devido à baixa solubilidade dos hidróxidos férricos formados, eles podem agir sobre ampla faixa de pH. Na coagulação, a formação de flocos é mais rápida, devido ao alto peso molecular desse elemento, comparado ao do alumínio; por conseguinte, os flocos são mais densos, e o tempo de sedimentação é reduzido significativamente (PAVANELLI, 2002).

A reação a seguir, proposta por Pavanelli (2002) refere-se à reação de hidrólise do cloreto férrico, sendo esta a responsável pela formação de hidróxido de ferro, que possui ação coagulante sobre as partículas:



A utilização de  $\text{FeCl}_3$  reduz drasticamente a cor, turbidez, quantidade de sólidos suspensos, DBO, além de eliminar fosfatos.

Delgado et al. (2003) utilizaram o cloreto férrico como coagulante no tratamento de efluente frigorífico, alcançaram eficiências que oscilaram na faixa de 60-75% para remoção de turbidez, aplicando dosagens que variaram entre 5 e 30  $\text{mg.L}^{-1}$  no processo de coagulação.

Silva, Aquino e Santos (2007) estudaram e compararam o cloreto férrico e a moringa no pós-tratamento de efluentes provenientes de reatores anaeróbicos de mantas de lodos, e mesmo concluindo que o cloreto férrico apresentou-se mais eficiente na remoção da demanda química de oxigênio (DQO), turbidez e também financeiramente mais viável. Porém, apresentou valores de ferro acima dos estabelecidos pela legislação, sendo imprescindível outro tratamento para a remoção do coagulante excedente.

## COAGULANTES NATURAIS

Os coagulantes naturais também podem ser denominados polieletrólitos por serem polímeros originários de proteínas e polissacarídeos (BARROS, 2002).

Segundo Silva (2005) tem-se buscado na biodiversidade dos recursos naturais um coagulante natural, biodegradável, com baixa toxicidade, de uso simples, barato e de fácil obtenção.

Mangrich et al. (2013) citou que o lodo resultante do tratamento de águas ou de efluentes, desde que seja orgânico, pode ser utilizado como matéria prima para a produção de fertilizantes orgânicos, com a liberação lenta e controlada de nitrogênio, evitando assim a utilização da uréia, por exemplo.

O uso dos coagulantes naturais para tratamento de efluentes podem trazer vantagens para a indústria frigorífica. Tendo em vista que a geração de efluente é inevitável, a água obtida após o tratamento poderá ser reciclada em áreas externas a indústria e o lodo gerado será mais facilmente eliminado devido a sua biodegradabilidade. Dentre os polieletrólitos, são mais comumente utilizados o extrato da semente de moringa, a quitosana e o tanino.

### Moringa

A *Moringa oleifera Lam.* é uma espécie arbórea pequena de crescimento rápido com altura de 5 a 12 metros, originária do noroeste indiano, cultivada graças ao seu valor alimentar, medicinal, industrial e no tratamento de água (BEZERRA, MOMENTÉ, MEDEIROS FILHO, 2004; SCHWARZ, 2000).

Lenhari e Hussar (2010) analisaram o tratamento físico-químico do efluente de uma indústria alimentícia comparando a semente de moringa e um polímero comercial e observaram que com o aumento da concentração do polímero comercial, a redução da DQO diminuiu, enquanto que, com a adição do coagulante natural, a eficiência aumenta. Assim concluíram que a substituição gera grandes vantagens tanto financeiras e ambientais que por ser de origem natural não faz-se o uso de recursos não renováveis como o petróleo, do qual estes polímeros são sintetizados.

A semente de moringa também pode ser utilizada como alimento como Abdulkarima, S. M. et al. (2005) concluíram que a *semente de moringa oleifera* o óleo tem potencial para se tornar uma nova fonte de óleo oleico.

Silva e Matos (2008), avaliaram as características das sementes de moringa empregada na preparação de dispersões para tratamento de águas e constataram que as dispersões contendo casca de semente foram menos homogêneas que as sem casca, que a remoção do conteúdo oléico das sementes de moringa pode contribuir maior remoção de turbidez e com um estudo granulométrico das dispersões preparadas com sementes de Moringa sem casca mostrou que o diâmetro das partículas comendo massa sem óleo foi menor, resultando em maior superfície específica. Em razão disto a dispersão apresentou menores valores de cor aparente e turbidez.

Nishi et al. (2011) citaram as vantagens da utilização da moringa para o tratamento de água, sendo: um agente coagulante não depende do pH da água bruta, não altera significativamente o pH e a alcalinidade da água após o tratamento, não causam problemas de corrosão, biodegradabilidade, baixa toxicidade e baixo índice de produção de lodo residual.

## Quitosana

A quitosana foi isolada em 1859 pelo aquecimento da quitina em solução concentrada de hidróxido de potássio, resultando assim em um polieletrólito catiônico obtido a partir da desacetilação da quitina, que pode ser obtida a partir de fungos, especialmente nas espécies do gênero *Mucor*, leveduras e do exoesqueleto de crustáceos, especialmente dos camarões e caranguejos. O processo de purificação da quitina consiste na retirada de minerais através de tratamento ácido, desproteinização alcalina e desodorização com hipoclorito de sódio. A produção da quitosana pode ser obtida pela hidrólise parcial ou total do grupamento acetil com soluções concentradas de hidróxido de sódio ou hidrólise enzimática, sendo que os diferentes métodos resultam em quitosanas com diferentes graus de desacetilação e massa molecular, determinando a sua aplicabilidade (FREEPONS, 1986; TOLAIMATEA, DESBRIERESB, RHAZIA, ALAGUIC, 2003; WESKA et al., 2007; WIBOWO et al., 2007; CAPELETE, 2011).

Santos et al. (2003) citam várias aplicações da quitosana como o tratamento de águas, produção de cosméticos, medicamentos, aditivos alimentícios, membranas semipermeáveis e desenvolvimento de biomateriais.

Devido à sua biodegradabilidade a quitosana surge como um polímero potencial para substituição de materiais sintéticos amplamente utilizados no tratamento de efluentes, tendo como perspectiva o reaproveitamento desses resíduos (WIBOWO et al., 2007).

Para Renault et al. (2009) em comparação com sais metálicos, a quitosana é mais eficiente em concentrações menores, produz flocos maiores, favorecendo assim a velocidade de sedimentação, o volume do lodo produzido é menor além de causar menor impacto ambiental devido a sua biodegradabilidade, porém essa eficiência é limitada em uma faixa de pH e concentração.

Divakaran e Pillai (2001) obtiveram resultados em que a quitosana promoveu a máxima clarificação de suspensões contendo caulinita (argila) na água, para soluções com turbidez variando de 10 a 160 NTU e a eficiência na coagulação foi com turbidez fixada em 40 NTU e pH variando entre 6,5 e 7,5.

Gonçalves et al. (2008) utilizaram a quitosana para o tratamento de efluentes contaminadas com corantes alimentícios, e observaram que com a redução do pH de 7 para 6 e aumento da concentração de quitosana de 250 para 500 mg.L<sup>-1</sup> houve um aumento na remoção do corante de 33% para mais de 90%.

Laus et al. (2006) estudaram a remoção da acidez, ferro e manganês de águas contaminadas pela mineração de carvão utilizando microesferas de quitosana reticulada com tripolifosfato. Os resultados obtidos foram satisfatórios, pois as microesferas auxiliaram na remediação da acidez (pH de 2,5 para 6,0), promissoras quais mostraram-se eficientes na remoção de ferro e manganês da água, com 100% e 90% de remoção, respectivamente.

## Tanino

O tanino é um coagulante natural, extraído da casca de vegetais como a Acácia Negra, anjico, por exemplo, que é cultivada no Brasil, somente no Estado do Rio Grande do Sul. A extração do tanino para a produção do coagulante para tratamento de águas utiliza de 20 a 30 % da casca. Essa casca esgotada é em parte destinada à compostagem para a produção de fertilizante orgânico. O restante é

usado na própria fábrica para queima, produção de vapor e geração de energia elétrica, em muitos casos, suficiente para atender a todo o funcionamento da indústria (MANGRICH et al., 2013).

O tanino atua em sistemas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre essas partículas, sendo este processo responsável pela formação dos flocos e consequente sedimentação (MARTINEZ, 1996). Barradas (2004) cita que dentre suas propriedades, o tanino não altera o pH da água tratada, uma vez que não consome a alcalinidade do meio, ao mesmo tempo em que é efetivo em uma ampla faixa de pH, de 4,5 a 8,0.

Cruz et al. (2005) afirmam que o uso de uma matéria prima renovável, tal como os taninos vegetais, apresenta uma menor contribuição de ânions sulfatos ao lodo final, menor geração de massa de lodo, e obtenção de um lodo orgânico com maior facilidade de eliminação.

Coral, Bergamasco e Bassetti (2009) analisaram o sulfato de alumínio e o tanino da marca Tanfloc<sup>®</sup>, utilizaram concentrações de 10 a 60 mg.L<sup>-1</sup> e obtiveram resultados equivalentes em ambos os coagulantes, porém com a vantagem do último não possuir metais remanescentes na água tratada e no lodo gerado ao fim do processo.

Segundo Sánchez-Martín (2010) em estudos realizados em uma planta piloto de tratamento de águas superficiais, a utilização do Tanfloc<sup>®</sup> demonstrou redução de cor em até 50%, remoção de surfactantes em até 75%, e remoção de matéria orgânica representada pela diminuição de 40% na DQO e de 60% na DBO.

Pelegrino (2011) estudou o emprego do tanino em um sistema de pós tratamento de efluente de esgoto sanitário e com a concentração de 65 mg.L<sup>-1</sup> de tanino e 2,0 mg.L<sup>-1</sup> de polímero catiônico, obteve para os parâmetros estudados, resultados satisfatórios com redução de 95,2% da turbidez, cor aparente com diminuição de 82,1%, fósforo total com 49,2%, DQO 80,7% e redução de 87,9% para sólidos suspensos totais.

Cruz (2004) avaliou o uso no tanino para o tratamento de efluentes de uma lavanderia industrial e obteve o melhor resultado com a concentração de 166 mg.L<sup>-1</sup> de tanino na faixa de pH entre 5,5 e 7,5 obtendo remoção de mais de 80% da carga orgânica e surfactantes. Avaliou ainda que, após o tratamento, o efluente não só atendia a legislação vigente como se apresentou pouco tóxico para a *Daphnia similis* (microcrustáceo).

Bongiovani et al. (2010) realizaram um estudo no qual avaliaram os benefícios da obtenção de água potável com a utilização do Tanfloc<sup>®</sup> SS e concluíram que é uma alternativa técnica, ressaltando as vantagens para a saúde pública, por não apresentar resquícios de metais e a preservação ambiental, pois o lodo é biodegradável facilitando a sua disposição no solo.

## COAGULANTES QUÍMICOS X COAGULANTES NATURAIS

Nos processos de coagulação para o tratamento de água e efluente, convencionalmente, são empregados coagulantes inorgânicos, de origem química, constituídos por sais de ferro e alumínio, como o sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), o sulfato férrico ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ) e o cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) (CORAL, BERGAMASCO, BASSETTI, 2009).

Pavanelli e Bernardo (2002) estudaram o rendimento de coagulantes químicos em água de alta turbidez e cor verdadeira baixa e o hidróxicloreto de alumínio obteve maior eficiência em uma faixa de pH mais ampla e o sulfato férrico resultou em menor custo para se obter a mesma turbidez remanescente.

Matos et al. (2007) estudaram o tratamento de efluentes de lavagem e descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro utilizando 04 (quatro) diferentes coagulantes, dos quais três eram de origem inorgânica (sulfato de alumínio, sulfato ferroso clorado e cloreto férrico) e um de origem orgânica (extrato de semente de moringa). As concentrações utilizadas foram de 0 a 3,0 g.L<sup>-1</sup> para os inorgânicos e de 0 a 60 mg.L<sup>-1</sup> para o extrato de moringa, variando o pH de 4,0 a 8,0. Os resultados obtidos indicaram grande potencial de aplicabilidade do extrato de semente de moringa apresentando maior remoção de sólidos suspensos na faixa de 4,0 a 5,0 de pH e concentração de 10 mL.L<sup>-1</sup>.

A diferença entre os coagulantes metálicos e os polímeros catiônicos está na sua reação hidrolítica com a água. Nos polieletrólitos, as cadeias polimerizadas já estão formadas quando eles são adicionados no meio líquido. Nos coagulantes metálicos, a polimerização se inicia no contato com o meio líquido, vindo a seguir a etapa de adsorção dos colóides existentes no meio (PHILIPPI, 2001).

Cardoso et al. (2008) citaram que países asiáticos, africanos e sul-americanos, estão utilizando várias plantas como coagulantes/floculantes para fins

de obtenção de água potável, minimizando assim os problemas ambientais e de saúde pública causados por coagulantes de origem química.

A utilização de produtos naturais no processo da coagulação torna-se economicamente viável, pois além de apresentar eficiência da remoção de diversos poluentes há a possibilidade do reaproveitamento do lodo residual, contribuindo para minimizar os impactos ambientais, os custos com a aquisição de substâncias químicas, que em alguns casos são importadas (BELISÁRIO et al., 2009).

O uso de uma matéria prima renovável, tal como os taninos vegetais, apresenta uma menor contribuição de ânions sulfatos ao lodo final, menor geração de massa de lodo, e obtenção de um lodo orgânico com maior facilidade de eliminação (CRUZ et al., 2005).

## **CONCLUSÃO**

Os coagulantes naturais estão sendo cada vez mais utilizados para o tratamento de efluentes frigoríficos fazendo com que o efluente tratado não contenha traços de metal, oriundo dos tratamentos com coagulantes químicos. Dentre os coagulantes citados, somente a quitosana se mostrou menos eficiente, pois a sua diluição ocorre melhor em pH's mais ácidos, assim o tratamento do efluente com este coagulante acarreta em maior custo para a indústria.

## **REFERÊNCIAS**

Abdulkarim, S.M.; Long, K.; Lai, O. M.; Muhammad, S. K. S.; Ghazali, H. M. Some physico-chemical properties of Moringa oleifera seed oil extracted using solvent and aqueous enzymatic methods. **Food Chemistry**. p. 253–263, 2005.

BARRADAS, J. L. D. **Tanino - Uma solução ecologicamente correta: agente floculante biodegradável de origem vegetal no tratamento de água**. Novo Hamburgo: Publicação Técnica, 2004.



BARROS, Marcos José de, NOZAKI, Jorge. Redução de poluentes de efluentes das indústrias de papel e celulose pela floculação/coagulação e degradação fotoquímica. **Química Nova**, v. 25, n. 5, p. 736-740, 2002.

BELISÁRIO, M.; BORGES, P. S.; GALAZZI, R. M.; DEL PIERO, P. B.; ZORZAL, P. B.; RIBEIRO A. V. F.N; RIBEIRO, J. N Emprego de resíduos Naturais no tratamento de efluentes contaminados com fármacos poluentes. **Inter Science Place**. Ano 2, n. 10, 2009.

BEZERRA, A.M.E.; MOMENTÉ, V.G.; MEDEIROS FILHO, S. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de Moringa (*Moringa oleifera Lam.*) em função do peso da semente e do tipo de substrato. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.2, p.295-299, 2004.

BONGIOVANI M. C., KONRADT-MORAES L. C., BERGAMASCO R., LOURENÇO B. S. S. E TAVARES C. R. G. Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para a obtenção de água potável. **Acta Scientiarum. Technology**. Maringá, v. 32, n. 2 p. 167-170, 2010.

BUDD, G. C., HESS, A. F., SHORNEY-DARBY, H., NEEMANN, J., SPENCER, C. M., BELLAMY, J. D., HARGETTE, P. H. Coagulation applications for new treatment goals. **Journal of American Water Works**

BRASIL. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: nov 2013.

BRASIL. MAPA - Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. **Portaria Nº 711, de 1º de novembro de 1995**. Acesso em: 23 de novembro de 2013.

CAPELETE, Bruna Cesca. **Emprego da Quitosana como Coagulante no Tratamento de Água Contendo *Microcystis aeruginosa* – Avaliação de**

**Eficiência e Formação de Trihalometanos.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2011.

CARDOSO, K. C.; BERGAMASCO, R.; SALA COSSICH, E.; KONRADT MORAES, L. C. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringa oleifera Lam.* **Acta Scientiarum. Technology**, Universidade Estadual de Maringá. v. 30, n. 2, p. 193-198, 2008.

CEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução nº 70/2009.** Acesso em 05 de dezembro de 2015.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Guia Técnico Ambiental de Frigoríficos Industrialização de carnes (bovina e suína).** São Paulo, 2008.

CORAL, L. A.; BERGAMASCO, R. 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.** São Paulo: 2010.

CRUZ, J. G. H. **Alternativas para a aplicação de coagulante vegetal à base de tanino no tratamento do efluente de uma lavanderia industrial.** Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

CRUZ, J. G. H.; MENEZES, J. C. S. S.; RUBIO, J.; SCHNEIDER, I. A. H.; Aplicação de coagulante vegetal à base de tanino no tratamento por coagulação/floculação e adsorção/coagulação/floculação do efluente de uma lavanderia industrial. **23<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.** Campo Grande – Mato Grosso, 2005.

DA SILVA, M. R. A.; OLIVEIRA, M. C.; NOGUEIRA, R. F. P. Estudo da aplicação do processo foto-fenton solar na degradação de efluentes de indústria de tintas. **Eclética Química**, v. 29, p. 19-25. 2004.

DELGADO, S.; DIAZ, F.; GARCIA, D.; OTERO, N. Behaviour of inorganic coagulants in secondary effluents from a conventional wastewater treatment plant. **Filtration and Separation**, v. 40, p. 42-46, 2003.

DIVAKARAN, R.; PILLAI, V. N. S. Flocculation of kaolinite suspensions in water by chitosan. **Water Research**, v. 35, n. 16, 2001.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **métodos e técnicas de tratamento de água**. 2ª ed. v. 1. São Carlos: RiMa. 2005.

FERNANDES, M. L. M. **Produção de lípases por fermentação em estado sólido e sua utilização em biocatálise**. Tese de Doutorado em Química. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007.

FREEPONS, D. Enhancing food production with chitosan seed-coating technology. In: MUZZARELLI, R.; JEUNIAUX, C.; GOODAY, G. W. (Ed.). **Chitin in nature and technology**. New York: Plenum Press, 1986. p. 129-139.

GOGATE, P.R.; PANDIT, A.B. A review of imperative technologies for wastewater treatment II: hybrid methods. **Advances in Environmental Research**, 8, p. 553-597, 2004.

GONÇALVES, Janaina O.; VIEIRA, Mery L. G.; PICCIN, Jeferson S.; PINTO, Luiz, A. A. **Uso de quitosana no tratamento de águas contaminadas com corante alimentício**. XVII Congresso de Iniciação Científica e X Congresso de Pós-Graduação. Universidade Federal de Pelotas, RS, 2008.

HASSEMER, M. A.N.; SENS, M. L. Tratamento do efluente de uma indústria têxtil. Processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 30-36, 2002.

HEMKEMEIER, M.; BETTO, T. L.; MANFRON, R.; caracterização e tratamentos físico-químico de efluente líquido de laboratório de análise de leite. **Revista CIATEC – UPF**, vol.1 (1), p.p. 32-51, 2009.

HUANG, H.; SCHWAB, K.; JACANGELO, J. G. Pretreatment for low pressure membranes in water treatment: a review. **Environmental Science and Technology** 43, p. 3011-3019, 2009.

JORDÃO, E. P. & PESSOA, ARRUDA, C.: **Tratamento de esgotos domésticos, concepções clássicas de tratamento de esgotos**, 2ªedição. CETESB, São Paulo, 1995, 544p.

JUNG, F.; CAMMAROTA, M. C.; FREIRE, D. M. G.; Impact of enzymatic pre-hydrolysis on batch active sludge systems dealing with oily wastewaters. **Biotechnology Letters**, v. 24, pag 1797-1802, 2002.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estatística da Produção Pecuária**. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos\\_201303\\_publicacao\\_completa.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201303_publicacao_completa.pdf)>. Acesso em: Mar 2014.

LAUS, R.; LARANJEIRA, M. C. M.; MARTINS, A. O.; FÁVERE, V. T.; PEDROSA, R. C.; BENASSI, J. C.; GEREMIAS, R. Microesferas de quitosana reticuladas com tripolifosfato utilizadas para remoção da acidez, ferro (III) e manganês(II) de águas contaminadas pela mineração de carvão. **Química Nova**. V. 29, n. 1, p. 34-39, 2006.

LEIKNES, T. O. The effect of coupling coagulation and flocculation with membrane filtration in water treatment: a review. **Journal of Environmental Sciences** 32 (1), 8 e 12, 2009.

LENHARI, J. L. B.; HUSSAR, G. J.; Comparação entre o uso da *Moringa Oleifera Lam* e de polímeros industriais no tratamento físicoquímico do efluente de indústria alimentícia. **Engenharia Ambiental**. Espírito Santo do Pinhal. v. 7, n. 4, p. 033-042, 2010.

MACÊDO, Jorge Antônio Barros de. **Subprodutos do processo de desinfecção de água pelos derivados clorados - Disinfection byproducts - DBP**, Juiz de Fora, Minas Gerais: Macêdo, 2001.

MACHADO, B. J. F. **Reuso de efluentes em torres de resfriamento – estudo de caso: Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2005.

MANGRICH, A. S.; DOUMER, M. E.; MALLMANN, A. S.; WOLF, C. R. Química Verde no Tratamento de Águas: Uso de Coagulante Derivado de Tanino de *Acacia mearnsii*. **Revista Virtual de Química**. V. XX, n. XX, 2013.

MARTINEZ, F. L. Taninos vegetais e suas aplicações. Universidade de Havana, Cuba, 1996.

MATOS, A.T.; CABANELLAS, C. F. G.; CECON, P. R.; BRASIL, M. S.; MUDADO, C. S. **Efeito da Concentração de coagulantes e do pH da solução na turbidez da água, em recirculação, utilizada no processamento dos frutos do cefeiro**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.27, n.2, p.544-551, maio/ago. 2007

MORAES, L. C. K. **Estudo da coagulação-ultrafiltração com o biopolímero quitosana para a produção de água potável**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá. 2004.

MATOS, A. T.; CABANELLAS, C. F. G.; MUDADO, C. S.; BRASIL, M. S.; CECON, P. R. Efeito da concentração de coagulantes e do pH da solução na turbidez da água, em recirculação, utilizada no processamento dos frutos do cafeeiro. **Scielo - Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, vol.27, n.2, 2007.

NAIME, R.; GARCIA, A.C. **Utilização de Enraizadas no Tratamento de Efluentes Agroindustriais. Estudos tecnológicos** - Vol. 1, nº 2, p.9-20 - jul/dez 2005.

NISHI, L.; Madrona, G.S.; VIEIRA, A.M.S.; BASETTI, F.J.; SILVA, G.F.; BERGAMASCO, R. **Coagulação/Floculação com Sementes de Coagulação/Floculação com Sementes de Moringa Moringa oleifera Lam para Remoção de Cistos de Giardia spp e Oocistos de spp. e Oocistos de Cryptosporidium Cryptosporidium spp da água.** 3<sup>o</sup> Advances in Cleaner Production. São Paulo, 2011.

NUNES, J. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais.** 3.ed. Gráfica e Editora Triunfo. Aracaju, 2001.

PAVANELLI, G.; BERNARDO, L. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com turbidez elevada e cor verdadeira baixa.** VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Vitória, 2002.

PELEGRINO, E. C. F. **Emprego de coagulante à base de tanino em sistema de pós-tratamento de efluente de reator UASB por flotação.** Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, 2011.

PHILLIPI, A. J. **Desenvolvimento de um equipamento para testes de floculação através de floculação em meio granular expandido.** Dissertação de Mestrado. Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2001.

RENAULT, F.; SANCEY, B.; DABOT, P.-M; CRINI, G. Chitosan for coagulation/flocculation processes – an eco-friendly approach. **European Polymer Journal**, v. 45, pg. 1337 – 1348, 2009.

SANTOS, J. E.; SOARES, J. P.; DOCKAL, E. R.; CAMPANA FILHO, S. P.; CAVALHEIRO, É. T. G. Caracterização de quitosanas comerciais de diferentes origens. **Revista Polímeros: ciência e tecnologia**, vol 3, n 4, São Carlos, SP. 2003.

SANTOS, Eliane Prado Cunha Costa dos.; **Coagulação da água da represa**

**vargem das flores visando tratamento por filtração direta.** Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

SANTOS, E. P. C. C.; TEIXEIRA, A. R.; ALMEIDA, C. P.; LIBÂNIO, M.; PÁDUA, V. L. Estudo da coagulação aplicada à filtração direta descendente. **Engenharia Sanitária Ambiental**, vol.12, nº.4. Rio de Janeiro, 2007.

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**. Volume 91, Issue 10, pg 2051–2058, 2010.

SCARASSATI, D.; CARVALHO, R. F.; DELGADO, V. L.; CONEGLIAN, C. M. R.; BRITO, N. N.; TONSO, S.; SOBRINHO, G. D. E PELEGRINI, R. **Tratamento de efluentes de matadouros e frigoríficos.** III Fórum de Estudos Contábeis. Centro Superior de Educação Tecnológica (CESET) – UNICAMP. São Paulo, 2003.

SCHNEIDER, René Peter; TSUTIYA, Milton Tomoyuki. Membranas Filtrantes para o Tratamento de Água, Esgoto e Águas de Reuso. São Paulo: ABES, 2001. 234 p.

SCHOENHALS, M.; SENA, F. R.; JOSÉ, J. H. Avaliação da eficiência do processo de coagulação/floculação aplicado como tratamento primário de efluentes de abatedouros de frangos. **Engenharia Ambiental**. Espírito Santo do Pinhal. V. 3, n. 2, p. 005-024, 2006.

SCHWARZ, D. **Water Clarification using Moringa oleifera.** Disponível em: <<http://stipulae.johnvanhulst.com/DOCS/PDF/Gate Moringa.pdf>>. Acesso em: 17 de março de 2014.

SILVA, C. A. **Estudos aplicados ao uso da *moringa oleifera* como coagulante natural para melhoria da qualidade de águas.** Dissertação de Mestrado. Instituto

de Química, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia, Minas Gerais. 2005.

SILVA, F. J. A.; MATOS, J. E. X. Sobre dispersões de Moringa oleífera para tratamento de água. **Revista Tecnologia Fortaleza**. v. 29, n. 2, p. 157-163, 2008.

SILVA, M. E. R.; AQUINO, M. D.; SANTOS, A. B. Pós-tratamento de efluentes provenientes de reatores anaeróbios tratando esgotos sanitários por coagulantes naturais e não-naturais. **Revista Tecnologia Fortaleza**. v. 28, n. 2, p. 178-190, 2007.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J. **Analytical chemistry**. 6. ed. Saunders College Pub., 1994.

TOLAIMATEA, A; DESBRIERESB, J; RHAZIA, M; ALAGUIC, A. Contribution to the preparation of chitins and chitosans with controlled physico-chemical properties. **Polymer**, v. 44, pag 7939 – 7952, 2003.

VIDAL, G.; CARVALHO, A.; MÉNDEZ, R.; LEMA, J. M; Influence of the content in fats and proteins on the anaerobic biodegradability of dairy wastewater. **Bioresource Technology**, v. 74, pag 231 – 239, 2000.

WESKA, R. F.; MOURA, J. M.; BATISTA, L. M.; RIZZI, J.; PINTO L. A. A.. Optimization of deacetylation in the production of chitosan from shrimp wastes - Use of response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, v.80, p. 749 – 753, 2007.

WIBOWO, A.; VELAZQUEZ, G.; SAVANT, V.; TORRES, J. A. Effect of chitosan type on protein and water recovery efficiency from surimi wash water treated with chitosan-alginate complexes. **Bioresource Technology**, v. 98, n° 3, p. 539 – 545, 2007.



## 4 USO DE COAGULANTES NATURAIS EM SUBSTITUIÇÃO AO CLORETO FÉRRICO

Este capítulo corresponde ao estudo comparativo dos coagulantes naturais, a base de tanino e o coagulante quitosana, em substituição ao cloreto férrico.

### USO DE COAGULANTES NATURAIS EM SUBSTITUIÇÃO AO CLORETO FÉRRICO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE ABATEDOURO-FRIGORÍFICO

**Resumo:** Há um interesse crescente no uso de coagulantes orgânicos e naturais no processo de coagulação devido à preservação do meio ambiente e preocupações com a saúde em relação ao uso de coagulantes inorgânicos e sintéticos. O objetivo deste trabalho foi investigar o uso de dois coagulantes naturais, o Tanfloc SG<sup>®</sup> e a quitosana, em substituição ao cloreto férrico no processo de coagulação para o tratamento de efluente abatedouro-frigorífico após o tratamento primário. Ensaio preliminares foram realizados para a definição das faixas de investigação dos parâmetros operacionais pH e concentração de coagulante, com base na redução da demanda química de oxigênio (DQO) do efluente. A partir desses resultados, os ensaios definidos por um delineamento composto central rotacional (DCCR), com três pontos centrais e quatro pontos axiais, o qual totalizou onze ensaios, permitiram a definição dos parâmetros operacionais ótimos para cada coagulante, que foram, respectivamente, de pH 7,0 e 200,0 mg.L<sup>-1</sup> para o Tanfloc SG<sup>®</sup>, e pH 4,0 e 500,0 mg.L<sup>-1</sup> para a quitosana, enquanto que, para o cloreto férrico, as condições ótimas foram pH de 4,5 e concentração de 100,0 mg.L<sup>-1</sup>. Ensaio conduzidos nas condições ótimas para cada coagulante e os resultados obtidos indicaram que o Tanfloc SG<sup>®</sup> foi significativamente mais eficiente no tratamento secundário do efluente de abatedouro-frigorífico. Já a quitosana, também um coagulante natural assim como o tanino, não foi eficiente para o tratamento do efluente de estudo. Concluiu-se, portanto, que o coagulante Tanfloc SG<sup>®</sup>, um coagulante natural a base de tanino, apresentou-se como uma alternativa eficiente e promissora ao uso do cloreto férrico para o tratamento secundário do efluente abatedouro-frigorífico.

**Palavras-chave:** tanino; meio ambiente; tecnologia limpa; coagulação.

**Abstract:** There is growing interest in the use of natural and organic coagulants in the coagulation process due to the preservation of the environment and health concerns regarding the use of inorganic and synthetic coagulants. The objective of this study was to investigate the use of two natural coagulants, the Tanfloc SG® and chitosan, replacing the ferric chloride by coagulation process of slaughterhouse-frig wastewater after primary treatment. Preliminary tests were performed to define the research groups of operating parameters pH and coagulant concentration, based on a reduction of chemical oxygen demand (COD) of the wastewater. From these results, the tests defined by a central composite design (CCRD) with three center points and four axial points, which amounted to eleven tests, allowed to define the optimum operating parameters for each coagulant, which were, respectively, pH 7.0 and 200.0 mg.L<sup>-1</sup> for Tanfloc SG® and pH 4.0 and 500.0 mg.L<sup>-1</sup> for chitosan, whilst for the ferric chloride solution, the optimum conditions were pH concentration of 4.5 to 100.0 mg.L<sup>-1</sup>. Tests conducted under optimal conditions for each coagulant and the results indicated that the Tanfloc SG® was significantly more efficient in the secondary treatment of wastewater from slaughterhouse-frig. The chitosan, also a natural coagulant as the tannin, was not efficient for the treatment of wastewater study. It was concluded, therefore, that the Tanfloc SG® coagulant, a natural coagulant from tannin, was an effective and promising alternative to the use of ferric chloride to the secondary treatment of slaughterhouse-frig wastewater.

**Keywords:** tannin; environment; clean technology; coagulation.

## INTRODUÇÃO

As indústrias frigoríficas caracterizam-se pelo grande volume de efluente gerado. Um dos processos utilizados no tratamento dos efluentes líquidos para a remoção da cor, turbidez e matéria orgânica natural é a coagulação (BUDD et al., 2004; DA SILVA et al., 2004; HASSEMER et al., 2002; HUANG et al., 2009; LEIKNES, 2009).

A coagulação corresponde à desestabilização da dispersão coloidal, obtida por redução das forças de repulsão entre as partículas com cargas negativas, por meio de adição de coagulantes químicos ou naturais (PAVANELLI, BERNARDO, 2002; SILVA, 2005).

Dentre os coagulantes mais utilizados estão os de origem inorgânica como o sulfato de alumínio, cloreto férrico, e sulfato férrico, e outros de origem orgânica, como o tanino e a quitosana, polieletrólitos naturais (PAVANELLI, BERNARDO, 2002; MATOS et al., 2007; BONGIOVANI et al., 2010).

O uso de coagulantes de origem inorgânica apresenta como principal desvantagem o fato de que após o processo de tratamento do efluente, ainda podem restar traços destes materiais no efluente tratado (SILVA, AQUINO, SANTOS, 2007), cujo acúmulo pode ocasionar danos à saúde e ao meio ambiente (CORAL et al., 2010).

A utilização de produtos naturais no processo de coagulação torna-se economicamente viável, pois além de apresentar eficiência na remoção de diversos poluentes há ainda a possibilidade do reaproveitamento do lodo residual como matéria prima para a produção de fertilizantes orgânicos, com a liberação lenta e controlada de nitrogênio, evitando assim a utilização da uréia, o que contribui com a minimização dos impactos ambientais e custos com a aquisição de substâncias químicas, que em alguns casos são importadas (BELISÁRIO et al., 2009; MANGRICH et al., 2013).

Dentre os coagulantes naturais estão os taninos, que pertencem a um grupo de compostos fenólicos provenientes do metabolismo secundário das plantas e são definidos como polímeros fenólicos solúveis em água capazes de precipitar proteínas. Apresentam alto peso molecular e contém grupos hidroxilafenólicos em quantidade suficiente para permitir a formação de ligações cruzadas com proteínas e atua em sistemas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre essas partículas, sendo este processo responsável pela formação dos flocos e consequente sedimentação (DESPHANDE et al., 1986; HASLAM, 1966; MANGRICH et al., 2013; MARTINEZ, 1996).

De acordo com Barradas (2004) o tanino é efetivo em uma ampla faixa de pH de 4,5 a 8,0. O uso de uma matéria prima renovável no processo de coagulação para o tratamento de efluentes, tal como os taninos vegetais, é uma alternativa promissora por apresentar vantagens para a saúde pública já que, além de não apresentar traços de metais e pela preservação ambiental, também resulta em uma menor geração de massa de lodo, o qual é orgânico e biodegradável, o que facilita a sua disposição no solo (CRUZ et al., 2005, BONGIOVANI et al., 2010).

Com relação à eficiência do tratamento de coagulação, segundo Sánchez-Martín (2010), em estudos realizados em uma planta piloto de tratamento de águas superficiais, a utilização do Tanfloc<sup>®</sup> resultou na redução de cor em até 50%, remoção de surfactantes em até 75%, e remoção de matéria orgânica representada pela diminuição de 40% na DQO e de 60% na DBO. Pelegrino (2011) estudou o emprego do tanino em um sistema de pós tratamento de efluente de esgoto sanitário e com a concentração de 65 mg.L<sup>-1</sup> de tanino e 2,0 mg.L<sup>-1</sup> de polímero catiônico, obteve para os parâmetros estudados, resultados satisfatórios com redução de 95,2% da turbidez, 82,1%, de cor aparente, 49,2% de fósforo total, 80,7% de DQO e 87,9% de sólidos suspensos totais.

Outro composto natural com capacidade coagulante é a quitosana, a qual foi isolada em 1859 pelo aquecimento da quitina em solução concentrada de hidróxido de potássio, resultando assim em um polieletrólito catiônico obtido a partir da desacetilação da quitina, que pode ser obtida a partir de fungos, especialmente nas espécies do gênero *Mucor*, leveduras e do exoesqueleto de crustáceos, especialmente dos camarões e caranguejos. A produção da quitosana pode ser obtida pela hidrólise parcial ou total do grupamento acetil com soluções concentradas de hidróxido de sódio ou hidrólise enzimática, sendo que os diferentes métodos resultam em quitosanas com diferentes graus de desacetilação e massa molecular, determinando a sua aplicabilidade (FREEPONS, 1986; TOLAIMATEA et al., 2003; WESKA et al., 2007; WIBOWO et al., 2007; CAPELETE, 2011).

De acordo com Renault et al. (2009), em comparação à sais metálicos, a quitosana é mais eficiente em concentrações menores, produz flocos maiores, favorecendo assim a velocidade de sedimentação, o volume do lodo produzido é menor além de causar menor impacto ambiental devido a sua biodegradabilidade, porém essa eficiência é limitada em uma faixa de pH e concentração.

Gonçalves et al. (2008) utilizaram a quitosana para o tratamento de efluentes contaminados com corantes alimentícios e observaram que, com a redução do pH reacional de 7 para 6 e aumento da concentração de quitosana de 250 para 500 mg.L<sup>-1</sup>, houve um aumento na remoção do corante de 33% para mais de 90%.

Laus et al. (2006) estudaram a remoção da acidez, ferro e manganês de águas contaminadas pela mineração de carvão utilizando microesferas de quitosana reticulada com tripolifosfato. Os resultados obtidos foram satisfatórios, pois as microesferas auxiliaram na remediação da acidez (pH de 2,5 para 6,0), e mostraram-

se eficientes na remoção de ferro e manganês da água, com 100% e 90% de remoção, respectivamente.

O presente trabalho, o qual busca o uso de tecnologias limpas para o tratamento de efluentes, teve como o objetivo avaliar o emprego dos coagulantes naturais Tanfloc SG<sup>®</sup> e quitosana, em substituição ao cloreto férrico, após o tratamento preliminar e primário de efluente industrial de abatedouro-frigorífico pelo processo de coagulação.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **AMOSTRA DE ESTUDO**

O efluente utilizado no presente estudo foi previamente submetido, na própria indústria, ao tratamento primário com peneiras estáticas e decantadores, e foi coletado logo após esta etapa de tratamento. As coletas foram realizadas sempre no período da manhã na tentativa de uma maior regularidade de composição das amostras.

Os procedimentos de coleta e condicionamento seguiram a NBR 9898/1987 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1987), assim as amostras foram condicionadas em frascos de polietileno, transportadas imediatamente após a coleta e resfriadas a 4°C, para posteriormente realização das análises.

### **REAGENTES QUÍMICOS**

O Tanfloc SG<sup>®</sup> utilizado nos ensaios foi cedido pela TANAC S.A. Os demais coagulantes utilizados foram o cloreto férrico hexahidratado P.A ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , Alphatec) e quitosana (Quimer). Para a análise de DQO, foram utilizados sulfato de prata (Qhemis), dicromato de potássio (Alphatec) e sulfato de mercúrio (Qhemis). Para determinação de fósforo, COT, nitrogênio e ferro, foram utilizados conjuntos de reagentes para análise da HACH adquiridos na HEXIS. Os demais reagentes utilizados (ácido sulfúrico, ácido clorídrico e hidróxido de sódio) foram de pureza analítica.

## PROCESSO DE COAGULAÇÃO

Os ensaios de coagulação foram conduzidos em modo batelada à temperatura ambiente ( $25 \pm 1$  °C) em equipamento *jar test*. Para cada coagulante investigado as variáveis de operação avaliadas foram a concentração de coagulante e o pH reacional.

O processo de coagulação consistiu na adição do agente coagulante na concentração desejada ao efluente, com posterior ajuste do pH, com auxílio de soluções de ácido sulfúrico e hidróxido de sódio, nas concentrações de 5; 1 e 0,1 mol.L<sup>-1</sup>. Na etapa de agitação rápida, as amostras foram agitadas a 120 rpm durante 3 minutos (Bongiovani et al., 2010), e na sequência, deu-se início à etapa de agitação lenta a 25 rpm por 60 minutos (Coral et al., 2010; Affam et al., 2014). Posteriormente, a agitação foi interrompida e iniciada a etapa de decantação dos flocos formados, por um período de 60 minutos (El-Gohary et al., 2009). A amostra tratada (sobrenadante) foi coletada para análise de caracterização.

### Ensaio Preliminares

Os ensaios preliminares foram realizados para estreitar as faixas de avaliação dos parâmetros operacionais investigados. A faixa de pH variou de 3 a 11, enquanto a faixa de concentração do coagulante, variou de 100 a 1000 mg.L<sup>-1</sup> para o Tanfloc SG<sup>®</sup> e para a quitosana e de 25 a 700 mg.L<sup>-1</sup> para o cloreto férrico, os valores foram determinados por meio de revisão de literatura. A eficiência foi avaliada em função do percentual de remoção de DQO.

### Planejamento Experimental

Para determinação dos parâmetros operacionais ótimos realizou-se, para cada coagulante investigado, um planejamento experimental no qual se utilizou como ferramenta o Delineamento Central Composto Rotacional (DCCR) 2<sup>2</sup> com 04 (quatro) pontos axiais e 03 (três) pontos centrais, que resultou em um total de 11 ensaios para cada coagulante. A variável resposta foi o percentual de remoção de

DQO, e, uma vez definidos os parâmetros operacionais ótimos (pH e concentração de coagulante) para cada coagulante investigado, novos ensaios foram conduzidos nestas condições.

## MÉTODOS ANALÍTICOS

As análises de caracterização das amostras de efluente líquido (Tabela 1) foram realizadas de acordo com as metodologias descritas pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA/AWWA/WEF, 2012).

**Tabela 1 – Análises para caracterização do efluente**

Grupo	Análise	Unidade	Método (número)
1	Demanda química de oxigênio (DQO)	mg.O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup>	Colorimétrico refluxo fechado (5220D)
	Cor real	mg.Pt.Co.L <sup>-1</sup> 1	Platina cobalto (2120A)
	pH	-	Potenciométrico (4500 H <sup>+</sup> )
	Turbidez	NTU	Nefelométrico (2130B)
2	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg.L <sup>-1</sup>	Respirométrico (5210D)
	Ferro total	mg.Fe.L <sup>-1</sup>	Colorimétrico o-fenantrolina /8008)
	Fósforo Total*	mg.P.L <sup>-1</sup>	Ácido Ascórbico (8190)
	Carbono Orgânico Total (COT)*	mg.C.L <sup>-1</sup>	Direto (10128)
	Nitrogênio Amoniacal*	mg.L <sup>-1</sup>	Salicilato (10031)

\* kits

A análise do Grupo 1 (Tabela 1) foi realizada para todas as amostras em estudo. As análises complementares (Grupo 2) foram realizadas apenas para as amostras dos ensaios conduzidos nas condições ótimas de operação.

As análises colorimétricas foram realizadas no espectrofotômetro da marca HACH modelo DR 2700. O pH foi determinado pelo método potenciométrico em pHmetro de bancada (MS TECNOPON Instrumentação, modelo mPA 210). A análise de turbidez foi realizada em turbidímetro (Policontrol, modelo AP 2000). A partir do

uso de soluções padrão, os resultados são expressos em NTU (unidade nefelométrica de turbidez).

## ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística foi realizada por meio do teste de Tukey com nível de significância de 95% e análise de variância (ANOVA), utilizando-se como ferramenta o programa STATISTICS 7.0.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO EFLUENTE

Por se tratar de um efluente real, em função da complexidade e variabilidade da matriz do efluente de estudo, foram utilizados lotes específicos de efluente para etapas específicas do estudo. Para a etapa preliminar, o Lote 1 foi utilizado nos ensaios com Tanfloc SG<sup>®</sup>, o Lote 2 nos ensaios com a quitosana e o Lote 3 com o cloreto férrico. Para os ensaios definidos pelo DCCR utilizou-se o Lote 4 e, o Lote 5 foi utilizado para a condução dos ensaios nas condições operacionais ótimas determinadas. Os resultados da caracterização físico-química de cada um dos diferentes lotes estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 – Caracterização físico-química dos efluentes de estudo**

Parâmetro	Cor (mg.Pt.Co L <sup>-1</sup> )	Turbidez (NTU)	pH	DQO (mg.O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )
Lote 1	4.050,00 ± 2,64	309,00 ± 4,58	6,58 ± 0,04	1.353,68 ± 0,02
Lote 2	3.550,00 ± 9,84	719,33 ± 8,02	6,57 ± 0,04	2.064,48 ± 0,01
Lote 3	6.700,00 ± 2,64	530,00 ± 5,50	6,46 ± 0,03	2.392,33 ± 0,01
Lote 4	3.444,00 ± 0,01	608,00 ± 4,36	6,40 ± 0,02	2.187,68 ± 0,01
Lote 5	1.850 ± 1,00	208,66 ± 0,57	6,54 ± 0,02	1.536,54 ± 0,003

Médias aritméticas de 03 repetições ± desvio padrão



A análise da Tabela 2 permite observar a variação entre os diferentes lotes coletados para os parâmetros cor, turbidez e DQO, o que confirma a complexidade e variabilidade característica de efluentes reais.

## ENSAIOS PRELIMINARES

Nos ensaios preliminares, cujo objetivo foi estreitar as faixas de investigação dos parâmetros avaliados, não foi feita a comparação entre os coagulantes e, por isso, a utilização de diferentes lotes (Tabela 2) para o Tanfloc SG® (Lote 1), quitosana (Lote 2) e cloreto férrico (Lote 3) não interferiu no objetivo dessa etapa.

### Tanfloc SG®

As percentagens de remoção de DQO dos ensaios preliminares com o coagulante Tanfloc SG® e as linhas de contorno obtida a partir desses resultados estão apresentadas, respectivamente, na Tabela 3 e Figura 1.

**Tabela 3 – Percentagem de remoção de DQO com o coagulante Tanfloc SG®**

pH	Remoção DQO (%)					
	Tanfloc SG® (mg.L <sup>-1</sup> )					
	100	300	500	650	800	1.000
3,0	58,85±0,02	43,48±0,006	30,31±0,04	28,34±0,01	29,21±0,02	0,93±0,003
5,0	67,25±0,05	58,21±0,007	29,71±0,07	34,52±0,001	18,21±0,05	5,23±0,003
7,0	51,94±0,002	62,11±0,001	60,58±0,07	60,64±0,004	8,29±0,04	11,03±0,006
9,0	43,72±0,002	62,19±0,05	59,96±0,09	67,70±0,02	38,93±0,09	61,47±0,01
11,0	36,40±0,10	36,53±0,01	24,15±0,02	49,32±0,01	46,48±0,006	50,86±0,01

Médias aritméticas de 03 repetições ± desvio padrão

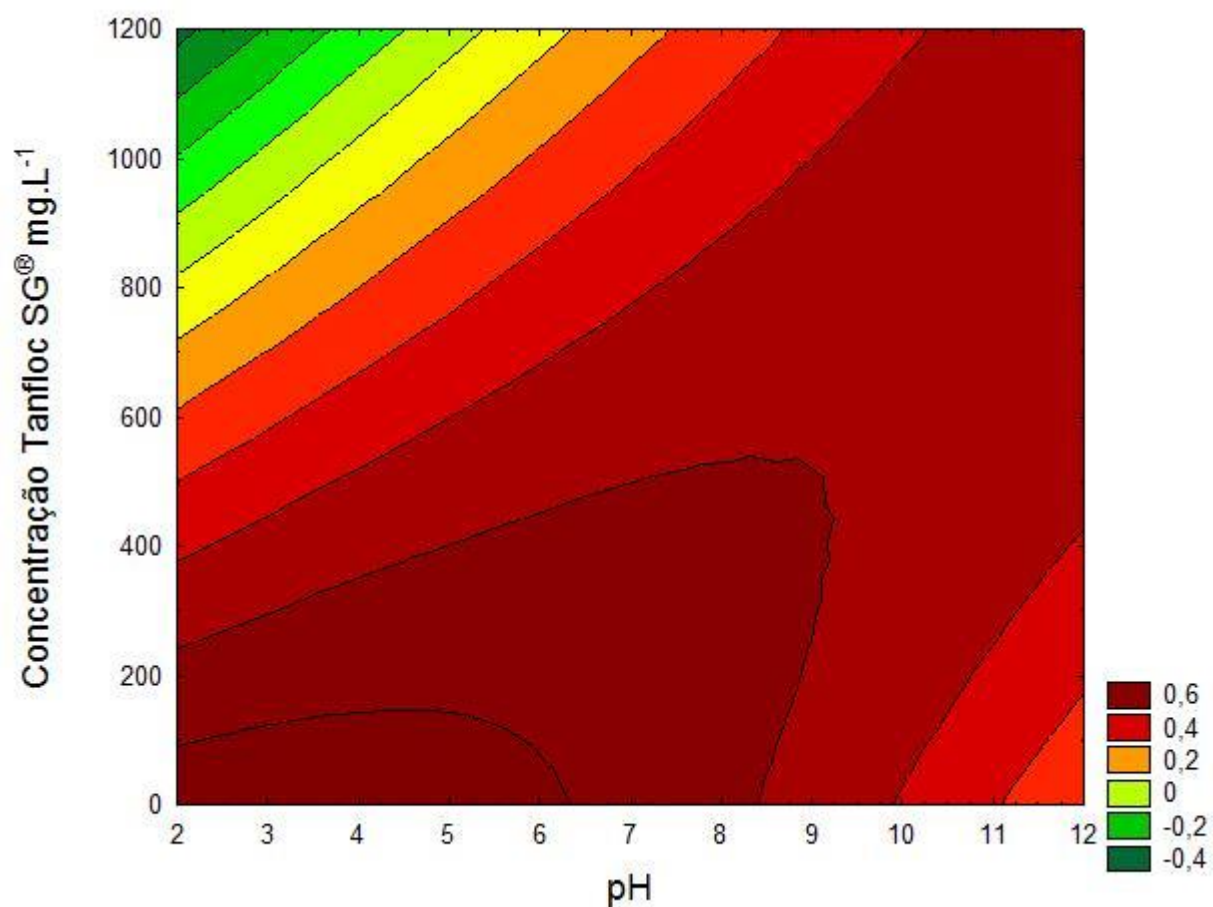


Figura 1 – Linhas de contorno para remoção de DQO com o coagulante Tanfloc SG®

De acordo com a análise da Figura 1, as faixas que resultaram nas melhores eficiências em termos de remoção de DQO compreendem a faixa de pH entre 3 e 7 e com concentrações abaixo de 200 mg.L<sup>-1</sup>.

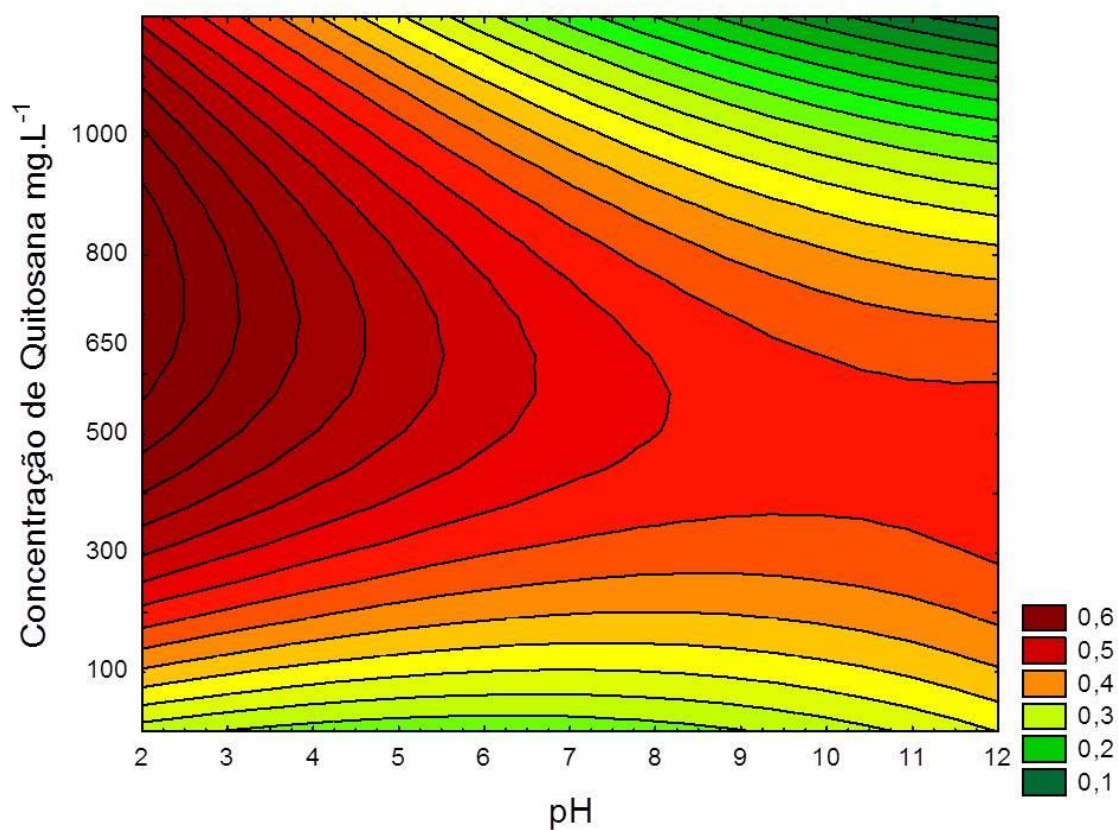
#### Quitosana

As percentagens de remoção de DQO nos ensaios preliminares com o coagulante quitosana e as linhas de contorno obtida a partir desses resultados estão apresentadas, respectivamente, na Tabela 4 e Figura 2.

Tabela 4 – Percentagem de remoção de DQO com o coagulante quitosana

pH	Remoção de DQO (%)					
	Quitosana (mg.L <sup>-1</sup> )					
	100	300	500	650	800	1.000
3,0	46,30±0,004	40,77±0,001	55,98±0,02	58,08±0,007	55,13±0,02	46,65±0,02
5,0	7,78±0,01	51,38±0,04	51,82±0,01	71,48±0,08	51,65±0,007	50,15±0,01
7,0	57,04±0,09	50,70±0,001	7,06±0,03	28,22±0,08	51,84±0,01	34,89±0,002
9,0	18,38±0,01	50,70±0,06	50,64±0,02	55,22±0,09	28,45±0,009	39,35±0,01
11,0	31,28±0,03	48,18±0,02	44,16±0,05	42,39±0,08	35,87±0,02	20,31±0,06

Médias aritméticas de 03 repetições ± desvio padrão



**Figura 2 – Linhas de contorno para remoção de DQO com o coagulante quitosana**

A partir da análise da Figura 2, as faixas que resultaram nas melhores eficiências em termos de remoção de DQO compreendem os valores menores que 4 para o pH e para a concentração a faixa de 500 a 900 mg.L<sup>-1</sup>.

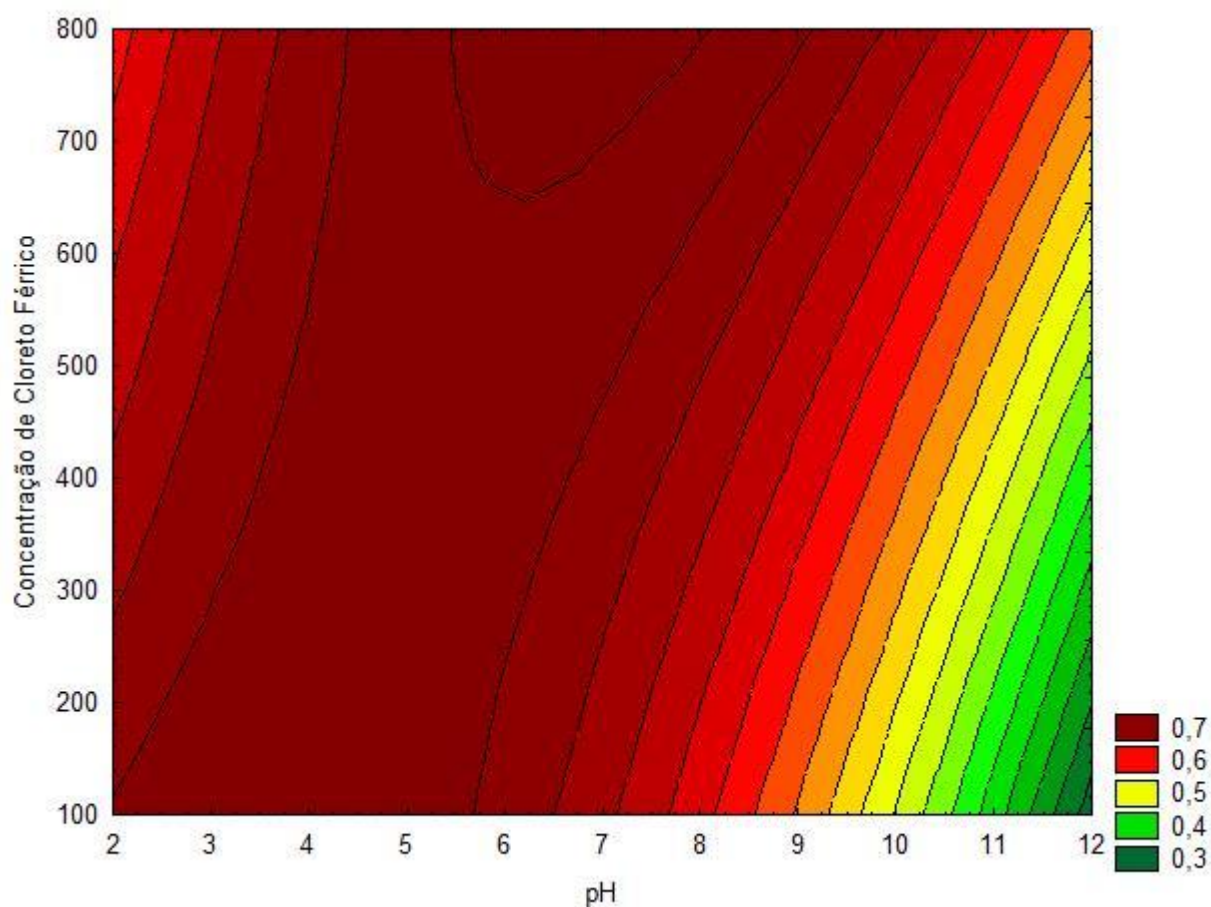
### Cloreto férrico

As percentagens de remoção de DQO para os ensaios preliminares com o coagulante cloreto férrico e as linhas de contorno obtida a partir desses resultados estão apresentadas, respectivamente, na Tabela 5 e Figura 3.

**Tabela 5 – Percentagem de remoção de DQO com o coagulante cloreto férrico**

pH	Remoção DQO (%)				
	Cloreto férrico (mg.L <sup>-1</sup> )				
	25	100	300	500	700
3,0	78,05±0,009	71,19±0,04	71,73±0,007	59,42±0,01	70,56±0,001
5,0	68,10±0,007	70,49±0,007	73,75±0,004	71,76±0,005	72,11±0,001
7,0	56,95±0,002	68,06±0,01	74,84±0,03	61,53±0,01	65,39±0,01
9,0	50,75±0,02	49,41±0,04	72,60±0,007	71,69±0,008	75,69±0,01
11,0	38,24±0,003	44,76±0,05	39,00±0,04	40,33±0,001	60,73±0,01

Médias aritméticas de 03 repetições ± desvio padrão



**Figura 3 – Linhas de contorno para remoção de DQO com o coagulante cloreto férrico**

De acordo com a Figura 3 pode-se observar que os melhores resultados para a remoção de DQO foram obtidos na faixa de pH de 3 a 7 e concentração de cloreto férrico de 100 a 600 mg.L<sup>-1</sup>.

## PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

As faixas de investigação para pH e concentração de coagulante, determinadas nos ensaios preliminares, foram aplicadas no DCCR, e dessa forma, os resultados obtidos nesses ensaios foram utilizados para determinação dos parâmetros ótimos de operação para cada um dos coagulantes investigados, como segue.

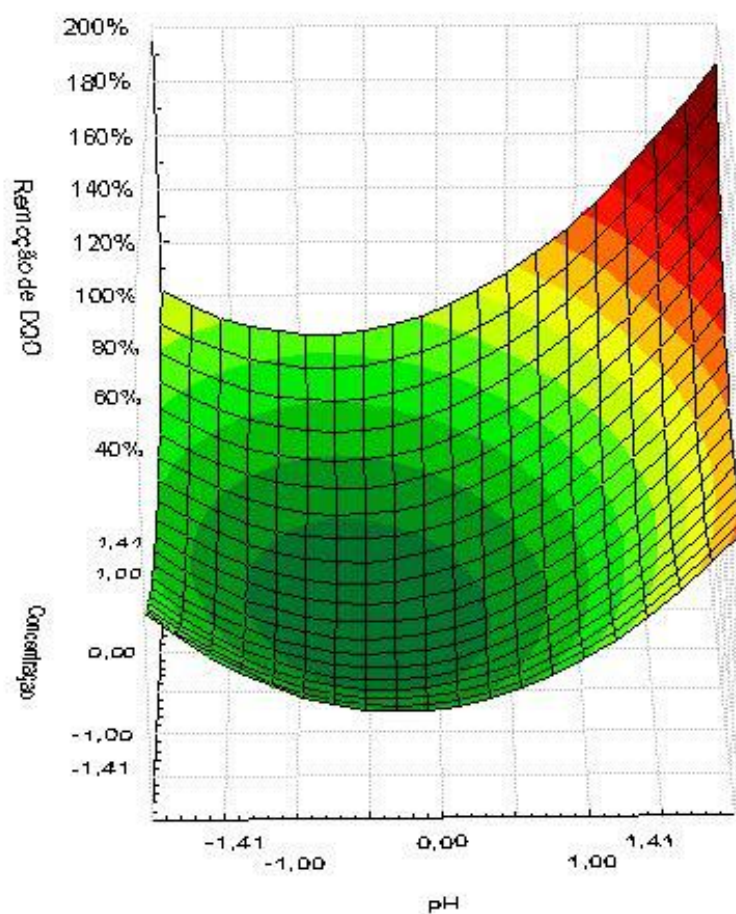
## Tanfloc SG®

Na Tabela 6 são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de coagulação com o Tanfloc SG® realizados a partir do DCCR.

**Tabela 6 – Planejamento DCCR 2<sup>2</sup> para tratamento de efluente com o coagulante Tanfloc SG® (níveis reais e codificados), e eficiências dos tratamentos em termos de percentagem de remoção de DQO.**

Ensaio	Variáveis		Remoção de DQO (%)
	(Nível real (codificado))		
	pH	Concentração (mg.L <sup>-1</sup> )	
1	3,58(-1)	71,80(-1)	45,56 ± 0,02
2	6,42(+1)	71,80(-1)	75,18 ± 0,02
3	3,58(-1)	178,20 (+1)	51,94 ± 0,006
4	6,42(+1)	178,20 (+1)	94,56 ± 0,02
5	3,00(-1,41)	125,00(0)	56,03 ± 0,06
6	7,00(+1,41)	125,00(0)	85,11 ± 0,003
7	5,00(0)	50,00(-1,41)	48,06 ± 0,008
8	5,00(0)	200,00(+1,41)	73,76 ± 0,03
9	5,00(0)	125,00(0)	45,56 ± 0,002
10	5,00 (0)	125,00(0)	50,11 ± 0,01
11	5,00 (0)	125,00(0)	42,14 ± 0,02

A partir dos resultados de remoção percentual de DQO em função das variáveis investigadas (Tabela 6) foi construída a superfície de resposta apresentada na Figura 4.



**Figura 4 – Superfície de resposta para remoção de DQO com o coagulante Tanfloc SG®**

De acordo com a análise da Figura 4, as maiores percentagens de remoção de DQO foram alcançadas quando os ensaios foram executados nos níveis superiores das variáveis, ou seja, à um pH 7,0 e concentração de Tanfloc SG® de 200 mg.L<sup>-1</sup>.

Ainda, a partir dos resultados obtidos (Tabela 6), fez-se a análise dos coeficientes de regressão (Tabela 7) e a análise de variância (Tabela 8), e foi possível observar que, dentre as condições investigadas para as variáveis, todas apresentaram diferença significativa entre si ao nível de 5%.

**Tabela 7 – Efeitos dos valores estudados para remoção de DQO com o coagulante Tanfloc SG®.**

Fatores	Efeitos	Coefficiente de Regressão	Erro padrão	Valor t	p-valor
Media	45,99	45,99	3,34	13,74	0,00003
X <sub>1</sub> (L)	28,30	14,15	2,05	6,89	0,00098
X <sub>1</sub> (Q)	25,22	12,61	2,44	5,14	0,00361
X <sub>2</sub> (L)	15,71	7,85	2,05	3,82	0,01228
X <sub>2</sub> (Q)	15,66	7,83	2,44	3,19	0,02406
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	7,00	3,50	2,89	1,20	0,28122

X<sub>1</sub> pH; X<sub>2</sub> Tanfloc SG®; p<0,05; L – termo linear; Q – termo quadrático; F<sub>cal</sub> = 47,54; R<sup>2</sup>=94,91%.

**Tabela 8 – Análise de variância.**

Fonte de variável	SQ <sup>a</sup>	GL <sup>b</sup>	QM <sup>c</sup>	F <sub>cal</sub> (95%)	F <sub>tab</sub> (95%)	p-valor
Regressão	0,313	5	0,062	18,661	5,050	0,003
Resíduos	0,017	5	0,003			
Falta de ajuste	0,013	2	0,007	6,376	9,552	
Erro puro	0,003	3	0,001			
Total	0,330	10				

a=soma dos quadrados; b=graus de liberdade; c=média dos quadrados.

Como o F<sub>cal</sub> para a regressão (47,54) é altamente significativo e a porcentagem de variação explicada (R<sup>2</sup>) foi considerada boa, 94,91. Observando-se a Tabela 8, tem-se um F calculado para a regressão maior que o F tabelado, entretanto a razão F<sub>cal</sub>/ F<sub>tab</sub> não é superior a 4. Temos ainda que o F<sub>cal</sub> para a falta de ajuste não foi superior ao valor tabelado, de forma que a falta de ajuste não é significativa, sendo por isso que não foram inseridos os termos significativos no resíduo, pois aumentaria o p-valor. Assim o modelo quadrático proposto é válido, sendo possível escrever o modelo matemático em função das variáveis significativas, apresentado na Equação (1).



$$\text{Remoção DQO (\%)} = 45,99 + 28,30X_1 + 25,22 X_1^2 + 15,71 X_2 + 15,66 X_2^2 \quad (1)$$

Onde X1 é o pH e X2 é a concentração de coagulante

Ainda de acordo com a Tabela 7, as variáveis pH e concentração apresentaram efeitos positivos, ou seja, a utilização dessas variáveis nos níveis superiores resulta em maior eficiência na remoção de DQO, o que confirma o que já havia sido apresentado pela superfície de resposta (Figura 4).

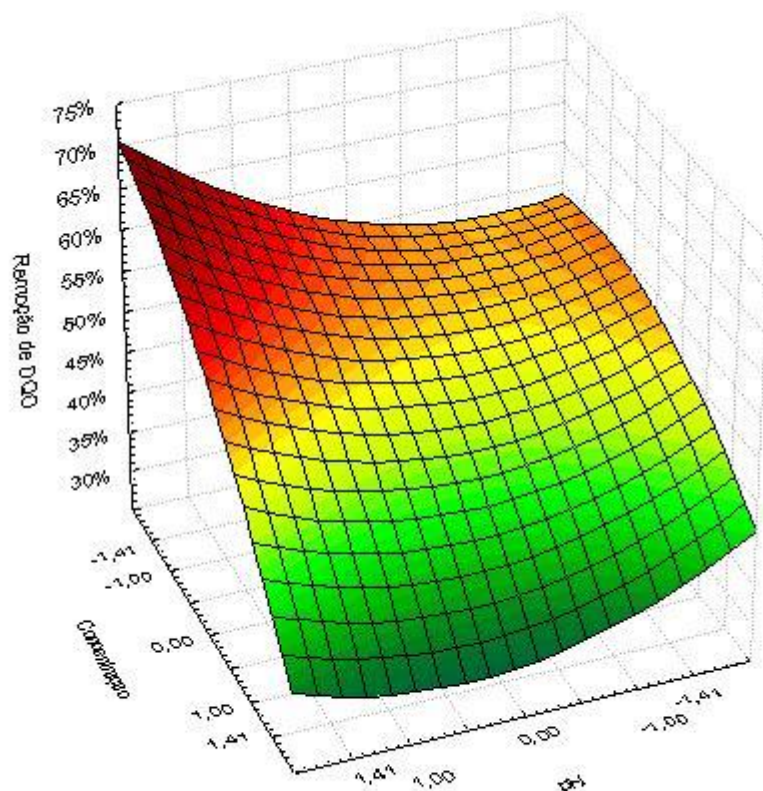
### Quitosana

Na Tabela 9 são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de coagulação com a quitosana realizados a partir do DCCR.

**Tabela 9 – Planejamento DCCR 2<sup>2</sup> para tratamento de efluente com o coagulante quitosana (níveis reais e codificados), e eficiências dos tratamentos em termos de percentagem de remoção de DQO.**

Ensaio	Variáveis		Remoção de DQO (%)
	(Nível real (codificado))		
	pH	Concentração	
1	2,29(-1)	558,2(-1)	51,87± 0,02
2	3,71(+1)	558,2(-1)	58,79±0,004
3	2,29(-1)	841,8 (+1)	44,76± 0,005
4	3,71(+1)	841,8 (+1)	45,65± 0,007
5	2,00(-1,41)	700,0(0)	50,09± 0,01
6	4,00(+1,41)	700,0(0)	52,04± 0,006
7	3,00(0)	500,0(-1,41)	54,88± 0,01
8	3,00(0)	900,0(+1,41)	34,64± 0,03
9	3,00(0)	700,0(0)	44,05± 0,02
10	3,00 (0)	700,0(0)	52,22± 0,02
11	3,00 (0)	700,0(0)	50,98± 0,01

A partir dos resultados de remoção percentual de DQO em função das variáveis investigadas (Tabela 9) foi construída a superfície de resposta apresentada na Figura 5.



**Figura 5 – Superfície de resposta para remoção de DQO com o coagulante quitosana**

De acordo com a análise da Figura 5, as maiores percentagens de remoção de DQO ocorreram nos níveis +1,41 e -1,41 (nível codificado) para os parâmetros pH e concentração, respectivamente, sendo assim, para os valores reais de pH 4,0 e de concentração de quitosana de  $500 \text{ mg.L}^{-1}$ .

Ainda, a partir dos resultados obtidos (Tabela 9), fez-se a análise dos coeficientes de regressão, apresentada na Tabela 10.

**Tabela 10 – Efeitos dos valores estudados para remoção de DQO com o coagulante quitosana.**

Fatores	Efeitos	Coefficiente de Regressão	Erro padrão	Valor t	p-valor
Media	48,65	48,65	1,91	25,47	0,000002
X1 (L)	2,71	1,35	1,17	1,15	0,2991
X1 (Q)	3,36	1,68	1,39	1,20	0,2826
X2 (L)	-12,08	-6,04	1,17	-5,15	0,0035
X2 (Q)	-3,67	-1,83	1,39	-1,31	0,2454
X1X2	-3,00	-1,50	1,65	-0,90	0,4060

X<sub>1</sub> pH; X<sub>2</sub> quitosana; p≤0,05; L – termo linear; Q – termo quadrático F<sub>cal</sub>=1,34; R<sup>2</sup>=86,93%.

A partir da análise da Tabela 10 é possível observar que nenhuma das condições investigadas para as variáveis apresentaram diferença significativa ao nível de 5%. Apesar disso, foi possível analisar que a variável concentração de coagulante apresentou efeito negativo, ou seja, o aumento dessa variável resulta em uma menor eficiência na remoção percentual de DQO, o que sugere o uso do nível inferior, de 500 mg.L<sup>-1</sup>. Para a variável pH o efeito positivo representa que o aumento dessa variável resulta em uma maior eficiência na remoção de DQO, assim sugere-se o uso no nível superior, ou seja, pH igual a 4,0.

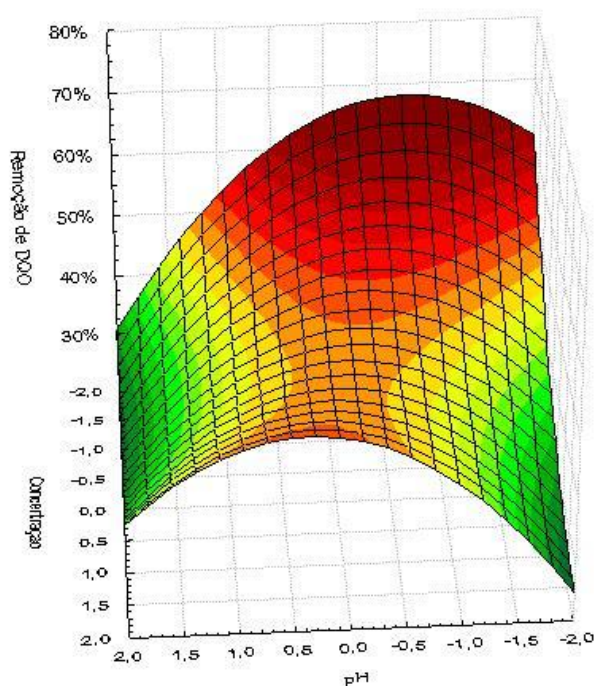
#### Cloreto férrico

Na Tabela 11 são apresentados os resultados obtidos nos ensaios previstos pelo DCCR para o coagulante cloreto férrico.

**Tabela 11 – Planejamento DCCR 2<sup>2</sup> para tratamento de efluente com o coagulante cloreto férrico (níveis reais e codificados), e eficiências dos tratamentos em termos de percentagem de remoção de DQO.**

Ensaio	Variáveis		Remoção de DQO (%)
	(Nível real (codificado))		
	pH	Concentração (mL.L <sup>-1</sup> )	
1	3,43(-1)	172,70(-1)	44,03 ± 0,01
2	5,57(+1)	172,70(-1)	55,11 ± 0,003
3	3,43(-1)	527,30(+1)	32,95 ± 0,02
4	5,57(+1)	527,30(+1)	55,11 ± 0,006
5	3,00(-1,41)	350,00(0)	58,52 ± 0,009
6	6,00(+1,41)	350,00(0)	23,30 ± 0,05
7	4,50(0)	100,00(-1,41)	60,80 ± 0,003
8	4,50(0)	600,00(+1,41)	48,30 ± 0,01
9	4,50(0)	350,00(0)	47,16 ± 0,007
10	4,50 (0)	350,00(0)	56,82 ± 0,003
11	4,50 (0)	350,00(0)	46,31 ± 0,02

A partir dos resultados de remoção percentual de DQO em função das variáveis investigadas (Tabela 11) foi construída a superfície de resposta apresentada na Figura 6.



**Figura 6 – Superfície de resposta para remoção de DQO com o coagulante cloreto férrico**

Os níveis que resultaram na maior remoção de DQO para concentração foram de -1,41 para o nível codificado que corresponde à concentração de  $100 \text{ mg.L}^{-1}$  de cloreto férrico e para o parâmetro pH a faixa ótima abrangeu os níveis de 0 a -1,41.

Ainda, a partir dos resultados obtidos (Tabela 11), fez-se a análise dos coeficientes de regressão, que está apresentada na Tabela 12.

**Tabela 12 – Efeitos dos valores estudados para remoção de DQO com o coagulante cloreto férrico.**

Fatores	Efeitos	Coefficiente de Regressão	Erro padrão	Valor t	p-valor
Media	50,09	50,09	7,90	6,33	0,29
X1 (L)	-4,12	-2,06	4,85	-0,42	0,68
X1 (Q)	-9,70	-4,85	5,78	-0,83	0,44
X2 (L)	-7,19	-3,59	4,85	-0,74	0,49
X2 (Q)	4,01	2,00	5,78	0,34	0,74
X1X2	5,53	2,76	6,84	0,40	0,70

$X_1$  pH;  $X_2$  cloreto férrico;  $p \leq 0,05$ ; L – termo linear; Q – termo quadrático  $F_{\text{cal}} = 0,18$ ;  $R^2 = 28,35\%$ .

A análise da Tabela 12 permite observar que nenhuma das condições investigadas para as variáveis apresentaram diferença significativa ao nível de 5%. Dessa forma, para a concentração de coagulante definiu-se o nível inferior como parâmetro ótimo ( $100 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e, para o pH, como foi constatado que não houve diferença significativa entre eles, foi definido o seu uso no nível central (pH de 4,5), que representa, dentro da faixa investigada, o valor de pH mais próximo ao do efluente.

Portanto, de acordo com o apresentado acima, as condições ótimas definidas para cada um dos coagulantes investigados estão apresentadas na Tabela 13.

**Tabela 13 – Parâmetros ótimos de pH e concentração de coagulante (Tanfloc SG®, quitosana e cloreto férrico) para tratamento secundário de efluente abatedouro-frigorífico por coagulação.**

Variáveis	Tanfloc SG®	Quitosana	Cloreto Férrico
pH	7,0	4,0	4,5
Concentração coagulante ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	200,0	500,0	100,0

### ENSAIOS NAS CONDIÇÕES ÓTIMAS

As caracterizações das amostras de efluente tratadas pelo processo de coagulação com Tanfloc SG®, quitosana e cloreto férrico, nas condições ótimas determinadas a partir dos ensaios do DCCR (Tabela 13), estão apresentadas a seguir.

Após o processo de coagulação e decantação mediu-se novamente o pH no efluente tratado para analisar a variação do pH com o processo de tratamento (Tabela 14).

**Tabela 14 – Comparação do pH antes e após o tratamento**

Coagulante	pH inicial	pH final
Tanfloc SG®	7,00 <sup>a</sup> ± 0,08	7,40 <sup>b</sup> ± 0,102
Quitosana	4,00 <sup>c</sup> ± 0,08	4,03 <sup>c</sup> ± 0,06
Cloreto férrico	4,50 <sup>d</sup> ± 0,08	4,63 <sup>d</sup> ± 0,036

\* Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si, pelo Teste de Tukey, a 95% de probabilidade.

A diferença do pH após o processo de coagulação não se mostrou significativa para a quitosana e para o cloreto férrico, porém, para o Tanfloc SG®, a diferença foi significativa para o efluente depois do processo de coagulação e decantação, ou seja, o coagulante interfere no pH do efluente.

De acordo com o pH dos efluentes tratados com os diferentes coagulantes investigados (Tabela 14) pode-se observar que o uso do Tanfloc SG® atendeu a faixa de pH de 5 à 9 estabelecida pela legislação (BRASIL, 2011). Já a quitosana e o cloreto férrico apresentam pH inferior ao estabelecido pela legislação, o que implica no fato da necessidade de ajuste do mesmo antes do seu descarte.

Na Tabela 15 encontram-se, para os ensaios conduzidos nas condições operacionais ótimas para cada um dos coagulantes investigados no presente estudo, os valores das percentagens de remoção de DQO, cor e turbidez, fósforo, COT e nitrogênio amoniacal.

**Tabela 15 – Percentagem de remoção DQO, cor, turbidez, fósforo, COT, nitrogênio amoniacal e DBO para o tratamento do efluente nas condições ótimas.**

Remoção (%)	Coagulante		
	Tanfloc SG®	Quitosana	Cloreto Férrico
DQO	73,25 <sup>a</sup> ± 0,006	54,49 <sup>b</sup> ± 0,14	46,32 <sup>c</sup> ± 0,07
Cor	95,31 <sup>d</sup> ± 0,008	97,35 <sup>e</sup> ± 0,005	86,86 <sup>f</sup> ± 0,03
Turbidez	98,08 <sup>g</sup> ± 0,01	74,84 <sup>h</sup> ± 0,71	84,66 <sup>i</sup> ± 0,03
Fósforo	27,97 <sup>j</sup> ± 0,33	3,14 <sup>k</sup> ± 0,01	61,87 <sup>l</sup> ± 0,16
COT	73,02 <sup>m</sup> ± 5,65	13,96 <sup>n</sup> ± 2,82	67,08 <sup>o</sup> ± 3,53
Nitrogênio amoniacal	56,74 <sup>p</sup> ± 2,19	12,56 <sup>q</sup> ± 1,91	6,08 <sup>r</sup> ± 2,36

\* Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si, pelo Teste de Tukey, a 95% de probabilidade.

A análise de ferro total para o efluente tratado com o cloreto férrico resultou em  $4,86 \pm 1,20 \text{ mg.L}^{-1}$ , valor que atende o limite máximo de  $15,00 \text{ mg.L}^{-1}$  para ferro dissolvido, estabelecido na legislação vigente (BRASIL, 2011).

Uma avaliação isolada de cada um dos polieletrólitos naturais investigados em comparação ao cloreto férrico, de acordo com os dados da Tabela 15, é apresentada a seguir.

O Tanfloc SG<sup>®</sup> apresentou-se significativamente mais eficiente que o cloreto férrico no tratamento do efluente de estudo, exceto para a remoção de fósforo.

Já a quitosana apresentou-se significativamente mais eficiente que o cloreto férrico na remoção de DQO, cor e nitrogênio amoniacal, porém para a remoção de turbidez, fósforo e COT o cloreto férrico foi significativamente mais eficiente. Ainda apresentou valores de DBO ( $20,6 \pm 0,004 \text{ mg.L}^{-1}$ ) dentro do limite estabelecidos pela legislação de no máximo  $50 \text{ mg.L}^{-1}$ , sendo que os outros coagulantes estudados apresentaram valores acima dos definidos pela legislação sendo de  $121,5 \pm 0,007 \text{ mg.L}^{-1}$  para o cloreto férrico e de  $279,5 \pm 0,004 \text{ mg.L}^{-1}$  para o tanino (CEMA, 2009).

Ainda de acordo com os resultados da Tabela 14, quando os dois polieletrólitos investigados são comparados, conclui-se que o Tanfloc SG<sup>®</sup> foi significativamente mais eficiente que a quitosana para todos os parâmetros avaliados, exceto para remoção de cor, porém, é importante destacar que, apesar disso, a remoção de cor com o uso do Tanfloc SG<sup>®</sup>, a qual foi de aproximadamente 95%, também foi satisfatória.

De uma forma geral, de acordo os resultados apresentados na Tabela 15 e conforme a discussão apresentada acima, o tratamento do efluente de estudo com o coagulante Tanfloc SG<sup>®</sup> resultou em um efluente tratado de qualidade significativamente melhor que os demais coagulantes investigados.

Na Tabela 16 estão expressas as razões DBO/DQO e COT/DQO para os efluentes tratados com os diferentes coagulantes investigados.



**Tabela 16 – Razões de DBO e COT em relação à DQO**

Coagulante	DBO/DQO	COT/DQO
Tanfloc SG <sup>®</sup>	0,19 <sup>a</sup>	0,15 <sup>b</sup>
Quitosana	0,03 <sup>c</sup>	0,71 <sup>d</sup>
Cloreto férrico	0,14 <sup>e</sup>	0,25 <sup>f</sup>

\* Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si, pelo Teste de Tukey, a 95% de probabilidade.

A razão DBO/DQO indica a biodegradabilidade do efluente tratado, definida por Alves et al. (2010) como a capacidade de uma substância ser decomposta em substâncias mais simples pela ação de bactérias. De acordo com os dados apresentados (Tabela 16) o Tanfloc SG<sup>®</sup> apresentou uma razão DBO/DQO significativamente maior que os demais coagulantes investigados, ou seja, resultou em um efluente tratado com maior biodegradabilidade que os demais, o que corrobora com a conclusão anterior de melhor qualidade do efluente tratado pelo processo de coagulação com o Tanfloc SG<sup>®</sup>.

A razão COT/DQO avalia com mais precisão a remoção da matéria orgânica (VOGEL et al., 2000) no tratamento. O COT é considerado um parâmetro direto, pois teoricamente abrange todos os componentes orgânicos de uma amostra, independente de seu estado de oxidação. Entretanto, não mede compostos inorgânicos que podem contribuir para a demanda de oxigênio na análise de DQO (Thomas et al., 1999), ou seja, quanto menor a razão, maior a eficiência do tratamento com relação à degradação de matéria orgânica. O Tanfloc SG<sup>®</sup> apresentou uma razão significativamente menor que os demais coagulantes investigados (Tabela 16), o que comprova que, de fato, o Tanfloc SG<sup>®</sup> foi mais efetivo na remoção de matéria orgânica do efluente.

## CONCLUSÃO

O presente estudo permitiu, para os coagulantes investigados, a determinação das condições operacionais ótimas (pH e concentração de coagulante) em função da remoção de DQO (%), para o tratamento do efluente em estudo. Ainda, para o Tanfloc SG<sup>®</sup>, foi possível determinar um modelo para

determinação da remoção de DQO (%) em função dos parâmetros operacionais investigados, o qual ajustou-se satisfatoriamente bem aos dados experimentais.

Dentre os três coagulantes investigados, o Tanfloc SG<sup>®</sup> foi o que apresentou uma eficiência significativamente melhor no tratamento do efluente abatedouro-frigorífico. Já a quitosana, também um coagulante natural assim como o tanino, não foi eficiente para o tratamento do efluente de estudo.

É importante ressaltar também que o pH reacional determinado como ótimo para o tratamento do efluente com o coagulante a base de tanino, o Tanfloc SG<sup>®</sup>, foi próximo ao pH do próprio efluente, enquanto que para os demais coagulantes (quitosana e cloreto férrico) o pH reacional determinado foi mais distante do pH do efluente, fato que resultaria para esses coagulantes em um maior custo para ajuste do pH reacional no tratamento e também após a coagulação para adequá-lo ao requerido pela legislação para lançamento em um corpo receptor d'água, se for o caso.

Portanto, com o presente estudo concluiu-se que o coagulante Tanfloc SG<sup>®</sup> apresentou-se como uma alternativa eficiente e promissora ao uso do cloreto férrico para o tratamento de efluentes de abatedouro-frigorífico, com uma vantagem adicional de ser um agente natural que minimiza os impactos ambientais uma vez que o efluente tratado e o lodo gerado não possuem traços de materiais inorgânicos causadores, com o acúmulo, em danos irreparáveis ao meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9898 – Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Rio de Janeiro, 1987.

AFFAM, A. C.; CHAUDHURI, M.; KUTTY, S. R. M.; MUDA, K. UV Fenton and sequencing batch reactor treatment of chlorpyrifos, cypermethrin and chlorothalonil pesticide wastewater. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 93, p. 195- 201, 2014.

ALVES, L. R.; TESSARO, I. C.; CASSINI, A. S. Estudo do aumento da biodegradabilidade de chorume de aterro sanitário. **IX Seminário do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for examination of water and wastewater. 22nd ed. Washington: American Public Health Association; 2012, 1360 pp. ISBN 978-087553-013-0

BARRADAS, J. L. D. **Tanino - Uma solução ecologicamente correta: agente floculante biodegradável de origem vegetal no tratamento de água.** Novo Hamburgo: Publicação Técnica, 2004.

BELISÁRIO, M.; BORGES, P. S.; GALAZZI, R. M.; DEL PIERO, P. B.; ZORZAL, P. B.; RIBEIRO A. V. F.N; RIBEIRO, J. N Emprego de resíduos Naturais no tratamento de efluentes contaminados com fármacos poluentes. **Inter Science Place.** Ano 2, n. 10, 2009.

BONGIOVANI M. C., KONRADT-MORAES L. C., BERGAMASCO R., LOURENÇO B. S. S. E TAVARES C. R. G. Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para a obtenção de água potável. **Acta Scientiarum. Technology.** Maringá, v. 32, n. 2 p. 167-170, 2010.

BUDD, G. C., HESS, A. F., SHORNEY-DARBY, H., NEEMANN, J., SPENCER, C. M., BELLAMY, J. D., HARGETTE, P. H. Coagulation applications for new treatment goals. **Journal of American Water Works Association**, 96:2, p. 102-113, Feb. 2004.

BRASIL. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: out 2015.

BRASIL. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: nov 2013.

CAPELETE, Bruna Cesca. **Emprego da Quitosana como Coagulante no Tratamento de Água Contendo *Microcystis aeruginosa* – Avaliação de Eficiência e Formação de Trihalometanos.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2011.

CEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução nº 70/2009.** Acesso em 05 de dezembro de 2015.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Guia Técnico Ambiental de Frigoríficos Industrialização de carnes (bovina e suína).** São Paulo, 2008.

CORAL, L. A.; BERGAMASCO, R. 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. **2nd International Workshop, Advances in Cleaner Production**. São Paulo: 2010.

CRUZ, J. G. H. **Alternativas para a aplicação de coagulante vegetal à base de tanino no tratamento do efluente de uma lavanderia industrial**. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

DA SILVA, M. R. A.; OLIVEIRA, M. C.; NOGUEIRA, R. F. P. Estudo da aplicação do processo foto-fenton solar na degradação de efluentes de indústria de tintas. **Eclética Química**, v. 29, p. 19-25. 2004.

DESPHANDE, S.S. CHERYAN, M.SALUNKHE, D.K. Tannin analysis of foods products. **CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.**, v.24. p. 401-449, 1986.

EL-GOHARY, F. A.; BADAWEY, M. I.; KHATEEB, M. A. EL.; KALLINY, A. S. EL. Integrated treatment of olive mill wastewater (OMW) by the combination of Fenton's reaction and anaerobic treatment. **Journal of Hazardous Materials**, v.162, p. 1536-1541, 2009.

FERNANDES, M. L. M. **Produção de lípases por fermentação em estado sólido e sua utilização em biocatálise**. Tese de Doutorado em Química. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007.

FREEPONS, D. Enhancing food production whit chitosan seed-coating technology. In: MUZZARELLI, R.; JEUNIAUX, C.; GOODAY, G. W. (Ed.). **Chitin in nature and technology**. New York: Plenum Press, 1986. p. 129-139.

GONÇALVES, Janaina O.; VIEIRA, Mery L. G.; PICCIN, Jeferson S.; PINTO, Luiz, A. A. **Uso de quitosana no tratamento de águas contaminadas com corante alimentício**. XVII Congresso de Iniciação Científica e X Congresso de Pós-Graduação. Universidade Federal de Pelotas, RS, 2008.

HASLAM, E. Chemistry of vegetable tannins. London: Academic Press, 1966.

HASSEMER, M. A.N.; SENS, M. L. Tratamento do efluente de uma indústria têxtil. Processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 30-36, 2002.

HUANG, H.; SCHWAB, K.; JACANGELO, J. G. Pretreatment for low pressure membranes in water treatment: a review. **Environmental Science and Technology** 43, p. 3011-3019, 2009.

LAUS, R.; LARANJEIRA, M. C. M.; MARTINS, A. O.; FÁVERE, V. T.; PEDROSA, R. C.; BENASSI, J. C.; GEREMIAS, R. Microesferas de quitosana reticuladas com

tripolifosfato utilizadas para remoção da acidez, ferro (III) e manganês(II) de águas contaminadas pela mineração de carvão. **Química Nova**. V. 29, n. 1, p. 34-39, 2006.

LEIKNES, T. O. The effect of coupling coagulation and flocculation with membrane filtration in water treatment: a review. **Journal of Environmental Sciences** 32 (1), 8 e 12, 2009.

MANGRICH, A. S.; DOUMER, M. E.; MALLMANN, A. S.; WOLF, C. R. Química Verde no Tratamento de Águas: Uso de Coagulante Derivado de Tanino de *Acaciamearnsii*. **Revista Virtual de Química**. V. XX, n. XX, 2013.

MARTINEZ, F. L. Taninos vegetais e suas aplicações. Universidade de Havana, Cuba, 1996.

MATOS, A. T.; CABANELLAS, C. F. G.; MUDADO, C. S.; BRASIL, M. S.; CECON, P. R. Efeito da concentração de coagulantes e do pH da solução na turbidez da água, em recirculação, utilizada no processamento dos frutos do cafeeiro. **SciELO - Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, vol.27, n.2, 2007.

MORAES, L. C. K. **Estudo da coagulação-ultrafiltração com o biopolímero quitosana para a produção de água potável**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá. 2004.

PAVANELLI, G.; BERNARDO, L. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com turbidez elevada e cor verdadeira baixa**. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Vitória, 2002.

PELEGRINO, E. C. F. **Emprego de coagulante à base de tanino em sistema de pós-tratamento de efluente de reator UASB por flotação**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, 2011.

RENAULT, F.; SANCEY, B.; DABOT, P.-M; CRINI, G. Chitosan for coagulation/flocculation processes – an eco-friendly approach. **European Polymer Journal**, v. 45, pg. 1337 – 1348, 2009.

SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; BELTRÁN-HEREDIA, J.; SOLERA-HERNÁNDEZ, C. Surface water and waste water treatment using a new tannin-based coagulant. Pilot plant trials. **Journal of Environmental Management**. Volume 91, Issue 10, pg 2051–2058, 2010.

SANTOS, E. P. C. C.; TEIXEIRA, A. R.; ALMEIDA, C. P.; LIBÂNIO, M.; PÁDUA, V. L. Estudo da coagulação aplicada à filtração direta descendente. **Engenharia Sanitária Ambiental**, vol.12, nº.4. Rio de Janeiro, 2007.

SILVA, C. A. **Estudos aplicados ao uso da *moringa oleifera* como coagulante natural para melhoria da qualidade de águas**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia, Minas Gerais. 2005.

SILVA, M. E. R.; AQUINO, M. D.; SANTOS, A. B. Pós-tratamento de efluentes provenientes de reatores anaeróbios tratando esgotos sanitários por coagulantes naturais e não-naturais. **Revista Tecnologia Fortaleza**.v. 28, n. 2, p. 178-190, 2007.

THOMAS, O. et al. TOC versus UV spectrophotometry for wastewater quality monitoring. **Talanta**, v. 50, p. 743–749, 1999.

TOLAIMATEA, A; DESBRIERESB, J; RHAZIA, M; ALAGUIC, A. Contribution to the preparation of chitins and chitosans with controlled physico-chemical properties. **Polymer**, v. 44, pag 7939 – 7952, 2003.

VOGEL, F.et al. The mean oxidation number of carbon (MOC) – usefull concept for describing oxidation processes. **Water Research**, v. 34, p. 2689-2702, 2000.

WESKA, R. F.; MOURA, J. M.; BATISTA, L. M.; RIZZI, J.; PINTO L. A. A.. Optimization of deacetylation in the production of chitosan from shrimp wastes - Use of response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, v.80, p. 749 – 753, 2007.

WIBOWO, A.; VELAZQUEZ, G.; SAVANT, V.; TORRES, J. A.. Effect of chitosan type on proteis and water recovery efficiency from surimi wash water treated with chitosan-alginate complexes. **Bioresource Technology**, v. 98, n° 3, p. 539 – 545, 2007.

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi aplicado o processo da coagulação como tratamento de efluente, posterior ao tratamento primário de abatedouro-frigorífico com o uso de coagulantes naturais em substituição ao cloreto férrico, nas quais as seguintes conclusões foram obtidas:

- O coagulante a base de tanino, Tanfloc SG<sup>®</sup>, apresentou-se significativamente mais eficiente que o cloreto férrico no tratamento do efluente de estudo, exceto para a remoção de fósforo, porém, para ambos os coagulantes os valores obtidos excederam o limite definido pela legislação.
- A quitosana apresentou-se significativamente mais eficiente que o cloreto férrico na remoção de DQO, cor e nitrogênio amoniacal, porém para a remoção de turbidez, fósforo e COT o cloreto férrico foi significativamente mais eficiente.
- Na definição do pontos ótimos para o parâmetro pH, o Tanfloc SG<sup>®</sup> atendeu a faixa de pH de 5 à 9 estabelecida pela legislação. Já a quitosana e o cloreto férrico apresentam pH inferior ao estabelecido pela legislação, o que implica no fato da necessidade de ajuste do mesmo antes do seu descarte.

Diante dos resultados apresentados, concluiu-se que o coagulante Tanfloc SG<sup>®</sup> apresentou-se como uma alternativa eficiente e promissora ao uso do cloreto férrico para o tratamento secundário de efluentes de abatedouro-frigorífico.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar a eficiência de remoções de DQO, DBO, COT, cor, turbidez, nitrogênio amoniacal, fósforo e ferro para os coagulantes estudados no tratamento de polimento de efluente de abatedouro-frigorífico.
- Avaliar a biodegradabilidade e aplicabilidade dos lodos resultantes do processo de coagulação.
- Avaliar a solubilidade da quitosana para obtenção de maior eficiência no tratamento de efluentes.
- Testar a quitosana como agente flocculante.
- Utilizar planejamento fatorial como testes preliminares.